

# ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ:

інноваційні аспекти технологій,  
енергоефективного виробництва,  
зберігання та маркетингу



Колективна монографія

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський державний університет  
харчування та торгівлі



**ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ:**  
інноваційні аспекти технологій,  
енергоефективного виробництва,  
зберігання та маркетингу

Колективна монографія

*За редакцією*

*проф. В. В. Євлаш*  
*проф. В. О. Потапова*  
*проф. М.І. Радченко*  
*проф. Н. Л. Савицької*

ХАРКІВ  
ВИДАВНИЦТВО СВІТ КНИГ  
2016

**УДК 339.13:613.2**  
**ББК 30.3:51.230:65.012.43**  
**ПЗ0**

Рецензенти:

*д-р техн. наук, проф. Дорохович В.В.*  
*Національний університет харчових технологій, м. Київ*  
*д-р техн. наук, проф. Хмельнюк М.Г.*  
*Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса*  
*д-р екон. наук, проф. Карпенко Н.В.*  
*Полтавський університет економіки і торгівлі, м. Полтава*

Рекомендовано до друку вченою радою Харківського державного університету харчування та торгівлі

**ПЗ0 ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ: інноваційні аспекти технологій, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія / за ред. проф. В. В. Євлаш, проф. В. О. Потапова, проф. М.І. Радченко, проф. Н. Л. Савицької. – Х. : Світ книг, 2016. – 546 с.**

**ISBN 978-966-2678-49-9**

У монографії з позиції інноваційного підходу розкрито проблемні питання теоретичного обґрунтування та розробки технологій, енергоефективного виробництва та зберігання, а також маркетингові інструменти формування та розвитку ринку продуктів для повноцінного харчування.

Призначено для аспірантів, магістрів, студентів технологічних та економічних спеціальностей, фахівців маркетингових служб.

**УДК 339.13:613.2**  
**ББК 30.3:51.230:65.012.43**

- © Колектив авторів, 2016
- © Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2016
- © С.М.Губський, комп'ютерний дизайн та верстання, 2016

**ISBN 978-966-2678-49-9**

# Kharkiv State University of Food Technology and Trade



---

## **NUTRITION: innovation aspects of technologies, energy efficient production, storage and marketing**

---

*EDITED BY*

**Viktoriya Evlash, Prof.  
Volodimir Potapov, Prof.  
Mykola Radchenko, Prof.  
Nataliia Savytska, Prof.**

**NUTRITION: innovation aspects of technologies, energy efficient production, storage and marketing / Ed. Prof. V. Evlash, Prof. V. Potapov, Prof. M. Radchenko, Prof. N. Savytska, – Kharkiv: Kharkiv State University of Food Technology and Trade, 2016. – 546 p.**

The monograph from the perspective of an innovative approach discussed problematic issues of theoretical study and development of technology, energy-efficient production and storage, and marketing tools development and market development of products for nutrition.

It is intended for graduate students, masters students technological and economic fields, specialists of marketing services.

**ISBN 978-966-2678-49-9**

- © Authors, 2016
- © Kharkiv State University of Food Technology and Trade, 2016
- © S.M.Gubsky, Desing, 2016

# Зміст

---

<b>Відомості про авторів/Contributor contact details</b>	<b>8</b>
<b>ЧАСТИНА I. Інноваційні аспекти технологій</b>	<b>15</b>
Розділ 1/CHAPTER 1 Вопросы создания, качества и безопасности диетических добавок, опыт мировых производителей и перспективы развития на отечественном рынке	16
Розділ 2/CHAPTER 2 Використання дієтичних добавок рослинного походження в харчових раціонах геродієтичного призначення	41
Розділ 3/CHAPTER 3 Удосконалення якості харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах	91
Розділ 4/CHAPTER 4 Визначення антиоксидантної ємності мармеладу желейно-фруктового та маршмелоу з дрібнодисперсними рослинними добавками	117
Розділ 5/CHAPTER 5 Використання жиру–магнетитової суспензії для підвищення харчової цінності цукерок “сухофрукти в шоколаді”, збагачених залізовмісною харчовою добавкою	143
Розділ 6/CHAPTER 6 Принципи розробки м'ясних та м'ясомістких продуктів в комплексі задач ресурсозбереження	171
Розділ 7/CHAPTER 7 Вплив мікробного полісахариду ксампану на формування якості маффінів на основі шроту зародків пшениці	194

**Розділ 8/CHAPTER 8**

Актуальность применения мембранных технологий в переработке молочной сыворотки 213

**Розділ 9/CHAPTER 9**

Производство белково-минеральной добавки экструзионным методом на основе отходов пищевых производств. Обзор проблем и решений 233

**ЧАСТИНА II. Енергоефективна переробка та зберігання 251**

**Розділ 10/CHAPTER 10**

Системно-динамічне моделювання процесу інфрачервоного жарення м'ясних напівфабрикатів 252

**Розділ 11/CHAPTER 11**

Зниження енерговитрат переробних підприємств шляхом використання вторинних та поновлюючих джерел енергії 276

**ЧАСТИНА III. Інноваційні технології комбінованого виробництва енергії для переробних підприємств 303**

**Розділ 12/CHAPTER 12**

Інноваційні технології комбінованого виробництва енергії, тепла та холоду (тригенерація). Внутрішньоциклова тригенерація 304

**Розділ 13/CHAPTER 13**

Методологія термочасового потенціалу охолодження для аналізу ефективності внутрішньоциклової тригенерації 326

**Розділ 14/CHAPTER 14**

Трансформація теплоти когенераційних газопоршневих модулів установки автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення технологічного виробництва 354

Розділ 15/CHAPTER 15	
Кондиціювання повітря машинної зали установки автономного енергозабезпечення технологічного виробництва	388
Розділ 16/CHAPTER 16	
Технології на основі термогазодинамічного ефекту для енергозабезпечення переробних виробництв	424
Розділ 17/CHAPTER 17	
Ефективність технологій охолодження воздуха на входе газовых турбин в климатических условиях Ливии	452
Розділ 18/CHAPTER 18	
Система совместного охлаждения технологического назначения и воздуха на входе регенеративных газовых турбин для климатических условий Ливии	473
<b>ЧАСТИНА IV. Маркетингові аспекти функціонування ринку товарів для повноцінного харчування</b>	<b>498</b>
Розділ 19/CHAPTER 19	
Малобюджетні методи просування продуктів повноцінного харчування (на прикладі ринку органічного м'яса та м'ясопродуктів)	499
Розділ 20/CHAPTER 20	
Маркетингові інструменти просування функціональних продуктів харчування (ФПХ)	516



# Відомості про авторів/ Contributor contact details

---

## **Александров**

### **Олександр Валентинович**

кандидат хімічних наук, доцент,  
Українська інженерно-педагогічна академія,  
Харків, Україна

## **Артамонова**

### **Майя Володимирівна**

кандидат технічних наук, доцент,  
Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

## **Афанасьєва**

### **Оксана Пилипівна**

кандидат економічних наук, доцент,  
Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

## **Бондаренко**

### **Олександр Геннадійович**

кандидат наук з державного управління,  
начальник кафедри, Національна академія  
Національної гвардії України, Харків, Україна

## **Эл Герби Рами Камел**

кандидат технічних наук, доцент,  
Колледж гражданской авиации, Триполи, Ливия

## **Эл Герби Рамзі Камел**

кандидат технічних наук, доцент,  
Політехнічний інститут, Триполи, Ливия

## **Глущенко**

### **Віталій Володимирович**

заступник начальника з тилу—начальник відділу  
тилового забезпечення,  
Національна академія Національної гвардії  
України, Харків, Україна

## **Olexandr V. Alexandrov**

Ph.D., Associate Professor,  
Ukrainian Engineering-Pedagogics Academy,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: alexandrov\_a\_v@inbox.ru

## **Maiia V. Artamonova**

Ph.D., Associate Professor, Kharkiv State  
University of Food Technology and Trade,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: artamonova\_maya@hduht.edu.ua

## **Oksana P. Afanasieva**

Ph.D., Associate Professor,  
Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: oksanaafanasieva2014@gmail.com

## **Oleksandr H. Bondarenko**

PhD, Head of the department  
The National Academy of the National Guard of  
Ukraine, Kharkiv, Ukraine

## **El Gerbi Rami Kamel**

Ph.D., Associate Professor,  
College of Civil Aviation, Tripoli, Libya  
e-mail: mazd77best@yahoo.com

## **El Gerbi Ramzi Kamel**

Ph.D., Associate Professor,  
Higher Institute of Comprehensive Professions,  
Tripoli, Libya  
e-mail: mazd77best@yahoo.com

## **Vitalii V. Hlushchenko**

Deputy Head, Chief of the logistics supply  
division,  
The National Academy of the National Guard of  
Ukraine, Kharkiv, Ukraine

## **Гонтар**

### **Татьяна Борисівна**

старший викладач,  
Українська інженерно-педагогічна академія,  
Харків, Україна

## **Грич**

### **Артем Вікторович**

кандидат технічних наук, асистент,  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

## **Губський**

### **Сергій Михайлович**

кандидат хімічних наук, доцент,  
Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, Харків, Україна

## **Євлаш**

### **Вікторія Владленівна**

доктор технічних наук, професор,  
Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, Харків, Україна

## **Жегус**

### **Олена Валентинівна**

кандидат економічних наук, доцент,  
Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, Харків, Україна

## **Казаків**

### **Геннадій Павлович**

кандидат фармацевтичних наук, доцент,  
Національний фармацевтичний університет,  
Харків, Україна

## **Касабова**

### **Катерина Рубенівна**

кандидат технічних наук, асистент,  
Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, Харків, Україна

## **Ковалёв**

### **Сергій Володимирович**

доктор фармацевтичних наук, доцент,  
Національний фармацевтичний університет,  
Харків, Україна

## **Tatyana B. Gontar**

Senior Lecturer,  
Ukrainian Engineering-Pedagogy Academy,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: taty-gontar@mail.ru

## **Artem V. Hrych**

Ph.D., Assistant Professor,  
Admiral Makarov National University of  
Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine  
e-mail: andrad69@mail.ru

## **Sergey M. Gubsky**

Ph.D., Associate Professor, Kharkiv State  
University of Food Technology and Trade,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: s.gubsky@hduht.edu.ua

## **Viktoriya V. Evlash**

D.SC., Professor, Kharkiv State University of  
Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: evlasvv@mail.ru

## **Olena V. Zhehus**

Ph.D., Associate Professor, Kharkiv State  
University of Food Technology and Trade,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: gegus.home.com@mail.ru

## **Genadyi P. Kazakov**

Ph.D., Associate Professor,  
National University of Pharmacy,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: bromatology@nuph.edu.ua

## **Kateryna R. Kasabova**

Ph.D., Assistant Professor,  
Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine

## **Sergiy V. Kovalev**

D.SC., Associate Professor,  
National University of Pharmacy,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: bromatology@nuph.edu.ua

**Коновалов**

**Дмитро Вікторович**

кандидат технічних наук, доцент,  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

**Костенко**

**Станіслав Миколайович**

старший викладач,  
Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, Харків, Україна

**Мостова**

**Людмила Миколаївна**

кандидат технічних наук, доцент,  
Харківський торговельно-економічний інститут  
Київського національного торговельно-  
економічного університету, Харків, Україна

**Назаренко**

**Юлія Валентинівна**

кандидат технічних наук, доцент,  
Сумський національний аграрний університет,  
Суми, Україна

**Нікітін**

**Сергій Васильович**

аспірант,  
Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

**Остапенко**

**Олексій Валерійович**

кандидат технічних наук, асистент,  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

**Павлоцька**

**Лариса Федорівна**

кандидат медичних наук, професор,  
Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

**Паржанов**

**Жанибек Ануарбекович**

доктор сільгосп. наук, професор,  
ТОО "Південно-Західний Науково-дослідний  
інститут тваринництва та рослинництва",  
Шимкент, Республіка Казахстан

**Dmitro V. Konovalov**

Ph.D., Associate Professor,  
Admiral Makarov National University of  
Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine  
e-mail: andrad69@mail.ru

**Stanislav M. Kostenko**

Senior Lecturer,  
Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine

**Lyudmila M. Mostova**

Ph.D., Associate Professor, Kharkiv Institute  
of Trade and Economics of Kyiv National  
University of Trade and Economics,  
Kharkov, Ukraine  
e-mail: htei.knteu@gmail.com

**Julija V. Nazarenko**

Ph.D., Associate Professor,  
National Agricultural University,  
Sumy, Ukraine  
e-mail: nazarenko.sumy@gmail.com

**Sergiy V. Nikitin**

Postgrade Student,  
Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: serreggka\_82@mail.ru

**Oleksiy V. Ostapenko**

Ph.D., Assistant Professor,  
Admiral Makarov National University of  
Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine  
e-mail: andrad69@mail.ru

**Larisa P. Pavlotskaja**

Ph.D., Professor, Kharkiv State University of  
Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: kaf\_gigipit@mail.ru

**Zhanibek A. Parzhanov**

D.S., Professor,  
LLP South-Western Research Institute of  
Livestock and Crop Production,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
e-mail: zhanibek\_58@mail.ru

## Пасічний

### **Василь Миколайович**

доктор технічних наук, професор,  
Національний університет харчових технологій,  
Київ, Україна

## Пілюгіна

### **Інна Сергіївна**

старший викладач,  
Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, Харків, Україна

## Попова

### **Наталія В'ячеславівна**

доктор фармацевтичних наук, професор,  
Національний фармацевтичний університет,  
Харків, Україна

## Потапов

### **Володимир Олексійович**

доктор технічних наук, професор,  
Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

## Радченко

### **Микола Іванович**

доктор технічних наук, професор,  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

## Радченко

### **Андрій Миколайович**

кандидат технічних наук, доцент,  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

## Радченко

### **Роман Миколайович**

кандидат технічних наук, доцент,  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

## Радчук

### **Олег Володимирович**

кандидат технічних наук, доцент,  
Сумський національний аграрний університет,  
Суми, Україна

## **Vasyl M. Pasichnyi**

D.S., Professor,  
National University of Food Technology,  
Kyiv, Ukraine  
e-mail: pasww1@ukr.net

## **Inna S. Piliugina**

Senior Lecturer,  
Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: inna.piliugina@ukr.net

## **Natalia V. Popova**

D.SC., Professor,  
National University of Pharmacy,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: bromatology@nuph.el.du.ua

## **Volodimir O. Potapov**

D.SC., Professor,  
Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: potapov@bigmir.net

## **Mykola I. Radchenko**

D.S., Professor,  
Admiral Makarov National University of  
Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine  
e-mail: andrad69@mail.ru

## **Andrii M. Radchenko**

Ph.D., Associate Professor,  
Admiral Makarov National University of  
Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine  
e-mail: andrad69@mail.ru

## **Roman M. Radchenko**

Ph.D., Associate Professor,  
Admiral Makarov National University of  
Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine  
e-mail: andrad69@mail.ru

## **Oleg V. Radchuk**

Ph.D., Associate Professor,  
Sumy National Agrarian University,  
Sumy, Ukraine  
e-mail: htech@sau.sumy.ua

**Рожкова**

**Людмила Георгіївна**

кандидат технічних наук, доцент,  
Сумський національний аграрний університет,  
Суми, Україна

**Савченко-Перерва**

**Марина Юріївна**

асистент,  
Сумський національний аграрний університет,  
Суми, Україна

**Савицька**

**Наталія Леонідівна**

доктор економічних наук, професор,  
Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

**Самохвалова**

**Ольга Володимирівна**

кандидат технічних наук, професор,  
Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

**Свідло**

**Карина Володимирівна**

доктор технічних наук, доцент, Харківський  
торговельно-економічний інститут Київського  
національного торговельно-економічного  
університету, Харків, Україна

**Степанова**

**Світлана Іванівна**

кандидат фармацевтичних наук, доцент,  
Національний фармацевтичний університет,  
Харків, Україна

**Тастанбекова Гульнара**

**Рахимбердыевна**

кандидат сільгосп. наук, доцент,  
ТОО "Південно-Західний Науково-дослідний  
інститут тваринництва та рослинництва",  
Шимкент, Республіка Казахстан

**Товма**

**Лідія Федорівна**

кандидат технічних наук, старший викладач,  
Національна академія Національної гвардії  
України, Харків, Україна

**Lyudmila G. Rozhkova**

Ph.D., Associate Professor,  
Sumy National Agrarian University,  
Sumy, Ukraine  
e-mail: htech@sau.sumy.ua

**Marina Y. Savchenko-Pererva**

Assistant Professor, Sumy National Agrarian  
University, Sumy, Ukraine  
e-mail: htech@sau.sumy.ua

**Nataliia L. Savytska**

D.S., Professor,  
Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: natalisavitska2010@gmail.com

**Olga V. Samokhvalova**

Ph.D., Professor, Kharkiv State University of  
Food Technology and Trade,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: kaf\_gigpit@mail.ru

**Karina V. Svidlo**

D.Sc., Associate Professor, Kharkiv Institute  
of Trade and Economics of Kyiv National  
University of Trade and Economics,  
Kharkov, Ukraine  
e-mail: htei.knteu@gmail.com

**Svitlana I. Stepanova**

Ph.D., Associate Professor,  
National University of Pharmacy,  
Kharkiv, Ukraine  
e-mail: bromatology@nuph.edu.ua

**Gulnara R. Tastanbekova**

Ph.D., Associate Professor,  
LLP South-Western Research Institute of  
Livestock and Crop Production,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
e-mail: gulnara.tastanbekova@mail.ru

**Lidiya F. Tovma**

PhD, Senior Lecturer  
The National Academy of the National Guard of  
Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
e-mail: l.f.tovma@gmail.com

### **Толеген**

#### **Маржанкул Ерхожақызы**

старший викладач,

Південно-Казахстанський державний університет  
ім. М.Ауезова, Шимкент, Республіка Казахстан

### **Цихановська**

#### **Ірина Василівна**

кандидат хімічних наук, доцент, Українська  
інженерно-педагогічна академія,  
Харків, Україна

### **Шматченко**

#### **Наталія Василівна**

асистент,

Харківський державний університет харчування  
та торгівлі, Харків, Україна

### **Marzhankul E. Tolegen**

Senior Lecturer,

M. Auezov South Kazakhstan State University.,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan

e-mail: m.tolegen@bk.ru

### **Iryna V. Tsykhanovska**

Ph.D., Associate Professor,

Ukrainian Engineering-Pedagogics Academy,  
Kharkiv, Ukraine

e-mail: cikhанovskaja@rambler.ru

### **Natalia V. Shmatchenko**

Assistant Professor,

Kharkiv State University of Food Technology  
and Trade, Kharkiv, Ukraine

e-mail: shmatchenko\_nat@hduht.edu.ua

**Колективна монографія підготовлена за матеріалами  
Всеукраїнського науково-практичного семінару**

**"Проблеми повноцінного харчування,  
енергоефективної переробки та зберігання»,**

**що відбувся 6-7 червня 2016 року  
в Харківському державному університеті харчування та торгівлі,  
Харків, Україна**

**The collective monograph published by material  
Ukrainian scientific-practical seminar**

***“The problems of full-value nutrition,  
energy efficient processing and storage”***

**6-7 June 2016  
Kharkiv State University of Food Technology and Trade  
Kharkiv, Ukraine**

# ЧАСТИНА I

---

## Інноваційні аспекти технологій



*За загальною редакцією*

**професора Євлаш В.В.**

*завідувача кафедри хімії, мікробіології та гігієни харчування  
Харківського державного університету харчування та торгівлі*



## Розділ 1/Chapter 1

# Вопросы создания, качества и безопасности диетических добавок, опыт мировых производителей и перспективы развития на отечественном рынке

Н.В.Попова, Г.П. Казаков, С.В. Ковалёв, С.І. Степанова

## Full-value nutrition as constituent part of self-SUPPORTING evolutions and completed approach to health

Natalia Popova, Gennadiy Kazakov,  
Sergiy Kovalev, Svetlana Stepanova\*

*National University of Pharmacy, Kharkov, Ukraine*

---

**Abstract:** The last decades are characterized by a persistent deterioration of health indicators, according to the WHO: the average life expectancy continues to decline, the incidence is increasing. Among the causes of morbidity and mortality in the leading position occupied by cardiovascular diseases and cancer, the development of which is related to nutrition. The level of breastfeeding reduced health outcomes and anthropometric characteristics of children, adolescents, and people's health deteriorating. On this basis, the basic requirements for dietary supplements must be effectiveness and safety. They need to normalize the physiological processes that underpin livelihoods and prevent the action of xenobiotics, the consequences of poor eating habits that inhibit the natural defense mechanisms of the human.

**Keywords:** *dietary supplements, statistics, risks, development, alfalfa*

---

\* Corresponding author e-mail: [bromatology@nuph.edu.ua](mailto:bromatology@nuph.edu.ua)

## **Содержание**

### *Вступление*

#### *1.1. Диетические добавки (ДД)*

#### *1.2. Современная классификация ДД*

#### *1.3. Нормативно – правовые аспекты на рынке ДД*

#### *1.4. Риски на рынке ДД*

#### *1.5. Проблемные вопросы на рынке ДД*

#### *1.6. Гармонизация правовых норм относительно регуляции обращения ДД*

#### *1.7. «За и пропив» приема ДД*

### *Выводы*

### *Список использованной литературы*

## **Вступление**

Пища, наряду с кислородом – важнейший биологический фактор жизнеобеспечения организма, его роста, сохранения здоровья, высокой работоспособности всех возрастных категорий населения, профилактики преждевременного старения, предупреждения возникновения, развития и успешного лечения болезней [1, 3, 4].

Современная цивилизация ставит перед человеком проблемы, связанные с высоким психическим и нервным напряжением. Угрожающая экологическая обстановка, стрессы, нервные перегрузки, неактивный образ жизни, бессонные ночи, неправильное питание – все это несет в себе угрозу жизням миллионов людей по всему миру.

Прежде всего пища определяет важнейшие физиологические процессы поддержания целостности ткани и регулирует биохимические механизмы обмена веществ, являясь главной детерминантой роста и развития. В свою очередь вышеупомянутое влияет на человека как на представителя общества.

Обеспечение достаточным количеством продуктов питания не единственная проблема стоящая перед человечеством, существуют и другие – рафинация продуктов (потеря многих полезных веществ), современные пищевые продукты могут содержать многочисленные ксенобиотики (пестициды, металлоорганические соединения, радионуклеиды, микотоксины, гормоноподобные вещества и др.), которые попадают в пищевой продукт из загрязненной окружающей среды или воспользованы человеком для стимуляции роста растений и животных [9, 15].

Таким образом, человек современного общества при традиционном питании обречен на различные виды пищевой недостаточности, и как следствие – неспособность соответствующих защитных систем организма отвечать на неблагоприятные воздействия окружающей среды, что может привести к развитию многих заболеваний [4, 5, 7, 8, 50].

Последние десятилетия характеризуются стойким ухудшением показателей здоровья населения Украины: продолжает снижаться средняя продолжительность жизни, увеличивается общая заболеваемость. Среди причин заболеваемости и смертности ведущее место занимают сердечно -сосудистые и онкологические заболевания, развитие которых в определенной степени связано с питанием. Снижается уровень грудного вскармливания, ухудшаются показатели здоровья и антропометрические характеристики детей, подростков, а также состояние здоровья лиц среднего и пожилого возраста [10].

У большей части населения Украины выявлены нарушения полноценного питания, обусловленные как недостаточным потреблением пищевых веществ, так и недостатком витаминов, макро – и микроэлементов, полноценных белков и их нерациональным соотношением [31, 37, 39].

Употребление в пищу некачественных или фальсифицированных продуктов приводит к опасным последствиям для здоровья человека. В связи с этим актуальность проблемы безопасности продуктов питания с каждым годом возрастает и является одним из основных факторов определяющих здоровье людей.

Для поддержания нормальной жизнедеятельности организма требуется около 600 нутриентов. Человеческий организм производит лишь некоторые из них, все остальные питательные вещества поступают в организм извне, преимущественно с пищей. В условиях экономической нестабильности структура питания населения претерпевает существенные изменения в сторону усугубления дисбаланса основных компонентов рациона. Систематические исследования свидетельствуют о том, что структура питания населения в нашей стране в значительной степени дефектна и пищевой статус имеет существенные отклонения от формулы сбалансированного питания. На первый план выходят следующие нарушения пищевого статуса:

- дефицит животных белков, достигающий 15-20 % от рекомендуемых величин, особенно в группах населения с низким доходом;
- дефицит полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) на фоне избыточного поступления животных жиров;

- выраженный дефицит большинства витаминов (витамина С, витаминов группы В, фолиевой кислоты, каротина);

- недостаточность кальция, особенно у лиц пожилого возраста, что сопровождается развитием остеопороза и повышенной ломкостью костей;

- дефицит минералов: железа (анемии), йода (особенно у детей до 17 лет в период интенсивного развития ЦНС, что приводит к потере существенной доли интеллектуальных способностей), а также фтора, селена, цинка;

- дефицит пищевых волокон [42, 44].

По определению ВОЗ более 60% всех причин смертности напрямую связаны с нарушениями в питании и появлении вследствие этого заболеваний:

- Сердечно – сосудистых (атеросклероз, инфаркт, инсульт), каждая вторая смерть на Земле – от сердечно – сосудистой патологии.

- Рака (75-80% вредных экологических факторов попадает в организм человека с пищевыми продуктами и питьевой водой).

- Остеопороза (страдает практически каждый человек старше 50 лет).

- Сахарного диабета II–типа (заболеваемость постоянно растет и «молодеет»).

- Дефицита витаминов и микроэлементов (страдает около 5 млрд. людей).

- Ожирение – одна из важнейших проблем современной медицины. Рост и частота его выраженности наиболее заметна в странах Европы и Северной Америки. Излишнюю массу тела имеет приблизительно 50% населения Германии, около 60% – США, Англии, больше 40% – Франции, Италии, Испании. Если у людей младшего возраста ожирение вызывает проблемы психологического характера, то у населения старшего поколения – вышеперечисленные заболевания (атеросклероз, инфаркт, инсульт, остеопороз, диабет и т.д.) [41, 46, 52, 56-58, 60].

### 1.1. Диетические добавки (ДД)

С давних времен в народной медицине используются различные растения и минеральные вещества для восстановления нарушенного обмена веществ, а в ряде случаев для лечения.

Преобразовавшись в новую форму под названием ДД (ранее БАД), эти рецептуры нашли свою экономическую нишу. В течении нескольких десятилетий использование подобных средств стремительно растет и завоевывает рынки многих стран. На отечественной терри-

тории рынок БАД существует более 28 лет, вызывая интерес специалистов и рядовых потребителей [2, 11-14, 16-26].

Государственная фармакопея Украины дает следующее определение: диетические добавки (ДД) – это концентраты натуральных или идентичных натуральным биологически активным веществам, предназначенные для непосредственного приема или введения в состав пищевых продуктов с целью обогащения рациона питания человека отдельными биологически активными веществами или их комплексами [29, 30, 32].

Использование ДД позволяет:

- достаточно легко и быстро восполнить дефицит необходимых пищевых веществ, в первую очередь микронутриентов;
- регулировать калорийность рациона и аппетит, влияя, таким образом, на массу тела;
- направленно изменять метаболизм отдельных веществ, в частности эндогенных и экзогенных токсинов;
- поддерживать нормальный состав и функциональную активность кишечной микрофлоры;
- повысить специфическую резистентность организма к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды;
- получить механизм немедикаментозного и безопасного пути регулирования и поддержки функции отдельных органов и систем [58, 59].

Исходя из этого, основными требованиями к ДД должны быть эффективность и безопасность. Они должны нормализовать физиологические процессы, которые лежат в основе жизнедеятельности и предотвращать действие ксенобиотиков, последствия неправильного питания, которые угнетают естественные защитные механизмы человека.

На мировом рынке, начиная с 2001 года, наблюдается постоянный рост диетических добавок к пище (ДД) на 7-8% в год.

Во многих развитых странах мира производство и потребление ДД достигает огромных масштабов. Например, в Японии ДД употребляет около 90% населения, в США – 80%, в Европе – более 65%.

В последние годы наблюдается высокая динамика роста продаж различных групп ДД. По мнению аналитиков, годовой суммарный объем рынка ДД в странах ближнего зарубежья в денежном эквиваленте составляет более 800 млн. долл. Динамика роста продаж различных ДД в Украине согласно исследованиям составляет 36-37% в год [63-71]. О вышеизложенном свидетельствуют следующие данные, приведенные в таб. 1.1.

Таблица 1.1

**Соотношение между средней продолжительностью жизни и потреблением диетических добавок в 2014 году**

Страна	Процент населения, регулярно потребляющих ДД	Средняя продолжительность жизни
Япония, Китай	90	83
США	80	80
Страны ЕС	50	80,5
Украина	8	70,4
Россия	7	68

Наиболее распространенные ДД в Украине применяются для снижения массы тела, улучшения зрения и накопления полезных веществ в организме. Около 35% рынка ДД занимает отечественная продукция, 17% – российская, более 15% – китайская. Далее идут крупные фармацевтические компании Германии, США, Франции и Великобритании.

## 1.2. Современная классификация ДД

Несмотря на то, что в Украине диетические добавки представлены более 28 лет, единой общепринятой классификации их до настоящего времени не выработано. Различные литературные источники и нормативные документы используют различные частные классификации, отражающие отдельные стороны их производства и оборота [1-26].

По происхождению основных компонентов ДД можно классифицировать как:

- растительные экстракты, цельные части растений,
- продукты пчеловодства,
- морепродукты,
- животные вытяжки,
- минеральные компоненты,
- продукты ферментации,
- продукты биотехнологии,
- синтетические аналоги природных пищевых веществ.

В соответствии со своей физиологической активностью и характером воздействия на организм человека ДД классифицируются следующим образом:

1. ДД, влияющие на функцию центральной нервной системы:

- 1.1. ДД мягкого успокаивающего действия;
- 1.2. ДД мягкого тонизирующего действия;
- 1.3. ДД, способствующие улучшению метаболизма в тканях головного мозга.
2. ДД, влияющие преимущественно на процессы тканевого обмена:
  - 2.1. ДД – источники моновитаминов и витаминоподобных веществ;
  - 2.2. ДД – источники поливитаминов;
  - 2.3. ДД – источники поливитаминов, содержащие отдельные минералы и минеральные комплексы;
  - 2.4. ДД – источники жирных кислот;
  - 2.5. ДД – источники аминокислот;
  - 2.6. ДД – источники витаминно-минеральных комплексов с аминокислотами и/или другими компонентами;
  - 2.7. ДД общеукрепляющего действия.
3. ДД – источники минеральных веществ:
  - 3.1. ДД, содержащие цинк, медь, марганец;
  - 3.2. ДД, содержащие кальций и фосфор;
  - 3.3. ДД, содержащие калий и магний;
  - 3.4. ДД, содержащие железо;
  - 3.5. ДД, содержащие йод;
  - 3.6. ДД, содержащие фтор;
  - 3.7. ДД, содержащие хром;
  - 3.8. ДД, содержащие селен;
  - 3.9. ДД, содержащие германий;
  - 3.10. ДД, содержащие кремний;
  - 3.11. ДД, содержащие полиминеральные комплексы.
4. БАД, поддерживающие функции иммунной системы:
  - 4.1. ДД – источники иммунокорректирующих веществ;
  - 4.2. ДД, способствующие нормализации функции иммунной системы при аллергических состояниях.
5. ДД – источники веществ антиоксидантного действия и веществ, влияющих на энергетический обмен:
  - 5.1. Антиоксиданты.
  - 5.2. ДД, влияющие на энергетический обмен.
6. БАД, влияющие на функции сердечно – сосудистой системы:
  - 6.1. ДД для поддержания функции сердечно – сосудистой системы;
  - 6.2. ДД, способствующие нормализации липидного обмена;

- 6.3. ДД, способствующие нормализации периферического кровообращения, в т.ч. мозгового.
- 7. ДД, поддерживающие функцию органов дыхания:
  - 7.1. ДД, способствующие регуляции и улучшению функции органов дыхания;
  - 7.2. ДД, содержащие эфирные масла;
  - 7.3. ДД, применяемые для снижения риска развития воспалительных процессов и сезонных заболеваний органов дыхания и их осложнений.
- 8. ДД, поддерживающие функцию органов пищеварения:
  - 8.1. ДД, улучшающие процессы пищеварения и функциональное состояние ЖКТ;
  - 8.2. ДД для поддержания функции печени. Желчевыводящих путей и желчного пузыря;
  - 8.3. ДД, регулирующие аппетит;
  - 8.4. ДД, поддерживающие моторно-эвакуационную функцию кишечника;
  - 8.5. ДД, способствующие нормализации и поддержанию нормы микрофлоры кишечника;
  - 8.6. ДД, снижающие риск развития воспалительных и язвенных процессов ЖКТ.
- 9. ДД для лиц, контролирующих массу тела.
- 10. ДД, поддерживающие функцию органов мочеполовой системы:
  - 10.1. ДД, улучшающие функцию мочевыводящей системы и с мягким мочегонным эффектом;
  - 10.2. ДД для поддержания функций и снижения риска заболеваний предстательной железы;
  - 10.3. ДД для поддержания функций и снижения риска обострений воспалительных заболеваний мочеполовой системы.
- 11. ДД, поддерживающие функцию опорно – двигательного аппарата.
- 12. ДД, влияющие на гуморальные факторы регуляции обмена веществ:
  - 12.1. ДД, поддерживающие функциональную активность щитовидной железы;
  - 12.2. ДД, снижающие риск нарушений углеводного обмена;
  - 12.3. ДД для снижения риска функциональных нарушений женских циклических процессов;
  - 12.4. ДД общеукрепляющего и тонизирующего действия для мужчин и женщин.



13. ДД, влияющие на лактацию.
14. ДД, влияющие на процесс детоксикации и способствующие выведению из организма чужеродных и токсичных веществ:
  - 14.1. Сорбенты;
  - 14.2. Другие ДД данной группы.
15. ДД различных групп.

### 1.3. Нормативно – правовые аспекты на рынке ДД

В большинстве зарубежных стран существуют законы, регламентирующие и регулирующие распространение ДД. Так, в США 25 октября 1994 г. принят Акт Конгресса США «О внесении изменений в Федеральный Акт о пищевых продуктах, лекарственных препаратах и косметических средствах с целью установления стандартов по отношению к пищевым добавкам» («Dietary Supplement Health and Education Act of 1994»). Различными вопросами применения продуктов питания с ДД занимается ряд организаций. Значительная часть этой работы находится в компетенции FDA (Food and Drug Administration — Управления по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств). FDA осуществляет контроль за качеством ДД посредством системы из 12 независимых компаний, расположенных в различных регионах страны и осуществляют весь комплекс работ по оценке, сертификации, стандартизации и контролю. Комиссия по ДД существует в рамках Национального института Здоровья США. Продажа ДД производится в специализированных магазинах и отделах супермаркетов, а также в аптеках.

Оформлению этикеток для ДД в США уделяется большое внимание. Контролирует это специальная «Комиссия по Этикеткам для ДД» (Commission on Dietary Supplement Labels) в составе 7 членов, утверждаемых непосредственно Президентом США. Члены комиссии должны быть высококвалифицированными специалистами в области фармакогнозии, медицинской ботаники, традиционной медицины, производства, исследований, распространения и практических вопросов применения ДД, а также законодательства, связанного с этими продуктами. Основная задача комиссии - проверять представленные на этикетках сведения и разрабатывать рекомендации по оформлению этикеток [24-30].

Исследованием клинической эффективности диетических добавок в США занимаются в основном государственные структуры, в частности Национальные институты здоровья. В рамках данной организации существует Национальный центр комплементарной и альтер-

нативной медицины (НЦКАМ) и Управления по диетическим добавкам (УДД).

В Германии качество ДД регламентируют два документа — «Положение о деятельности аптек» и «Предписание о декларации пищевой ценности». В Австрии для характеристики ДД существует такое определение, как «Verzehrproducte» (среднее между пищевыми продуктами и лекарственными средствами). Продажа их осуществляется после соответствующей сертификации. Правовые акты, определяющие порядок обращения ДД, разработаны также в Бельгии, Нидерландах и Греции.

Желание каждого человека быть здоровым, жизнерадостным, активным, победить болезни, нормализовать различные функции жизнедеятельности организма, являются естественными. Именно на этом психологическом аспекте строят продажу подобных средств, поэтому большинство рядовых граждан воспринимают ДД как средство для лечения. Однако это неверно, ведь эффективность таких средств не всегда доказана, клинические испытания зачастую не проводятся, а потому такие средства не должны включаться в протоколы лечения и могут предлагаться исключительно как профилактические [38, 41-63, 67]. На сегодняшний день нормативно-правовые документы, которые регулируют процедуру экспертизы государственной регистрации парафармацевтиков (ПФ) на территории Украины следующие:

1. Закон України від 17.02.20011 р № 3038-VI “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”.

2. Закон України від 06.08.2005 р. № 2809-VI “Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини”.

3. Наказ МОЗ України № 247 від 9.10.2000 р.”Тимчасовий порядок проведення державної санітарно – гігієнічної експертизи” зі змінами та доповненнями, затверджений Приказом МЗ України від 14.03.2006 р. № 120”.

Аптека является приоритетным каналом сбыта лечебных и профилактических средств вследствие того, что:

- для аптеки характерен многочисленный поток покупателей различного социального статуса и уровня дохода, а также распространение аптечных сетей и удобство фарммаркета;

- аптека имеет традиционное доверие населения: все купленное в аптеке считается безопасным и качественным, в сравнении с другими розничными торговыми предприятиями;

- возможность получения в аптеке профессиональной консультации у фармацевта по конкретной проблеме, включая назначения ЛС;

Недостатки, с которыми сталкиваются провизоры при закупке и реализации ДД:

1. Отсутствие нормативно – правовых документов со стороны государственных органов, которые давали возможность четко разграничить лекарственные средства и парафармацевтические группы товаров (29%);

2. Сложность в кодировании продукции, которая реализуется з НДС (24%);

3. Присутствие аналогов ПФ среди лекарств, которые легче закупать на фармацевтических фирмах (14%);

4. Недостаточное количество документов, которые регулируют оборот парафармацевтиков (13%);

5. Трудности с закупкой у дистрибьютеров, ООО, ЧП, на фиксированную сумму, которая реализуется с НДС (10%);

6. Недостаточное количество правовых документов, которые регулируют поступления на рынок ПФ (10%).

### 1.4. Риски на рынке ДД

Изучению ДД посвящено большое количество работ, в которых описаны физиологическое действие ДД, составы и формы, методы исследования, динамика продаж, каналы сбыта, юридические, правовые аспекты, а также производства и реализации, информация о фирмах производителей и др. Но, анализируя рынок ДД, исследователи отмечают неопределенный статус, непрозрачность, ограниченную, неполную и противоречивую информацию, несовершенную законодательную базу, неадекватную и агрессивную рекламу, появление недоброкачественной продукции, подделок, и, как следствие – отсутствие должного эффекта, интоксикации, отравления.

Проведено исследование рынка ДД и видов рисков к нему. Рассмотрим некоторые из них. Сегодня в мире существует около 3000 ДД. На отечественном рынке представлено более 600 наименований, имеющих различные виды биологического действия и используются в виде различных лекарственных форм. Состав и количество компонентов в этих лекарственных формах разнообразен и варьирует от одного до многих наименований природного, органического или неорганического характера. Известно, что растительное сырье может содержать от десяти до нескольких сот химических соединений, кроме этого, примеси других близких по структуре и действию компонентов, стандартизация которых достаточно сложная по ряду обстоятельств. В случае многокомпонентных ДД вопросы стандартизации, совместимо-

сти и терапевтического действия еще более сложные. Очень часто в составе ДД содержатся экзотические растения, что противоречит основным принципам лечения травами [23, 31].

Токсичные вещества, содержащиеся в растениях, относятся к немногочисленным, но весьма широким группам химических соединений. В общих чертах можно выделить алкалоиды, гликозиды, белки, органические вещества, смолы, минеральные токсины и неорганические соединения. Следует отметить, что отравления растениями обусловлено как неправильным определением или использованием незнатных видов, так и токсичностью хорошо известных. Управлением по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств (FDA) составлен перечень растений, которые запрещается использовать для производства. Существуют и другие базы данных Национальный Сингапурский университет, Китайский университет в Гонконге, Колорадский университет, Национальный токсикологический центр Гая (Лондон) и др.

Американское агентство по контролю лекарств и пищевых продуктов (FDA) опубликовало итоги потребления ДД, зафиксировано: более 2,5 тыс. случаев побочных действий и 79 случаев летального исхода.

Самое большое число жертв собрали добавки, содержащие растение эфедру, которое у нас можно распознать по китайскому названию «mahuang» — 900 осложнений и 44 смерти. Среди них «Гербал Экстази», «Энертрим», «Слендер Пауэр» и др. Это только официальные данные. Истинного числа осложнений не знает никто.

В американском журнале клинической онкологии были опубликованы результаты испытаний «акульего хряща» на 60 больных различными формами рака тяжелой стадии. За три месяца ни у кого из добровольцев опухоль ничуть даже не уменьшилась, некоторые умерли, не дождавшись окончания исследования.

В украинском издании описаны многочисленные случаи отравления ДД, содержащей морозник, бесконтрольное употребление которого приводит к глубинным изменениям процессов жизнедеятельности организма и в результате - непроходимость, перфорация, перитонит, токсико - бактериальный шок и летальный исход.

Самостоятельное употребление «активаторов», тоников может привести тоже к неожиданным последствиям. Во - первых, с основным действием активируются другие «дремлющие» патогенные процессы в организме. Во - вторых, при отмене употребления ДД может наблюдаться отказ в жизнедеятельности того или иного органа [23-31].

Минералы участвуют практически во всех обменных процессах организма водно - солевых, кисло - щелочных, ферментных. Многие из них являются антагонистами или способными накапливаться в организме. Недостаток или избыток минералов также приводит к различным нежелательным последствиям.

Распространение ДД не специалистами, торговыми агентами, которые ни за что не отвечают, «самолечение» – употребление выше-названных в поисках быстрых эффектов, отсутствие надлежащих клинических исследований создают угрозу здоровью потребителей.

Судебно - экспертные учреждения Министерства юстиции Украины фиксируют высокий уровень обращений работников судебно - следственных органов и отдельных граждан для решения дел о качественном, количественном составе ДД, а также об отнесении их к сильнодействующим средствам, которые по их мнению, нанесли вред здоровью, а именно – после употребления которых ухудшилось или полностью потеряно зрение, значительно ухудшилась работа желудочно - кишечного тракта, появилась боль в области печени, почек и др. Но, к сожалению, такие исследования в судебно - экспертных учреждениях Украины не могут быть проведены из - за отсутствия научно - разработанных методик исследований и правовой базы ДД.

По мнению специалистов - токсикологов, большая часть случаев отсутствия биологических эффектов, интоксикаций и отравлений неизвестна, потому что надлежащей статистики нет, а пострадавшие чаще всего совсем не обращаются к врачу.

Согласно закону Украины «О качестве и безопасности пищевых продуктов и продовольственного сырья» для контроля ДД необходимо проводить оценку обязательных параметров безопасности и минимальных спецификаций качества пищевых продуктов, которыми являются характеристики качества, установленные в виде органолептических, химических, биологических и физических характеристик пищевого продукта, которым должен соответствовать определенный продукт для того, чтобы считаться пригодным для употребления в течении его срока годности, а также идентификация ГМО.

За последние несколько лет в лаборатории (ГУ «Институт гигиены и медицинской экологии им. А.Н Марзеева НАМН Украины» Лаборатория контроля качества продукции.) проходили контроль диетические добавки следующих производителей (табл. 1.2).

Таблица 1.2

**Контроль диетических добавок**

Страна производитель	Кол-во образцов
Китай	55
США	25
Украина	12
Россия	8
Германия	12
Франция	7
Индия	6
Польша	4
Испания	3
Австрия	2
Словения	1
Словакия	1
Швейцария	1
Дания	1

Из проверенных 138 диетических добавок - 41 не соответствовала заявленным требованиям. Причём эти требования не касались показателей безопасности, определяемым согласно действующего законодательства Украины. Было выявлено, что часть ДД не содержат совсем или содержат в значительно меньшем количестве активных ингредиентов, а некоторые ДД для похудения содержат в своем составе незаявленный сильнодействующий компонент сибутрамин (табл. 1.3).

Сегодня чистые производственные площади (согласно GMP) - основная составная часть большинства современных предприятий, в том числе пищевой, а тем более медицинской и фармацевтической промышленности, но ряд производств ДД не соответствуют элементарным санитарным требованиям. Микроорганизмы или продукты их жизнедеятельности, которые присутствуют в ДД в процессе их работы, могут стать следствием пирогенного процесса. Источником контаминации иногда являются упаковочные материалы, неправильное хранение, сроки использования и др. [23-31, 68-82].

Таблиця 1.3

**Результаты анализа качества ДД с экстрактом плодов черники**

Диетическая добавка	Содержание антоцианов в экстракте черники, мг	Полученные результаты
Провизио, 30 таблеток, Производитель: «ТОВ УНИМЕД ФАРМА», Словакия	Не менее 3,99	6,19 мг (соответствует)
Оковит, 40 таблеток по 0,25 г, Производитель: ООО «ЭЛИТ-ФАРМ», Украина	Не менее 25,0	0,4 мг (не соответствует)
Оковит, 80 таблеток по 0,25 г Производитель: ООО «ЭЛИТ-ФАРМ», Украина	Не менее 25,0	0,4 мг (не соответствует)
Черника форте с витаминами и цинком , 50 таблеток, покрытых оболочкой Производство: ЗАТ «Эвалар», Россия	Не менее 0,5	0,7 мг (соответствует)
Черника форте с витаминами и цинком , 100 таблеток, покрытых оболочкой Производство: ЗАТ «Эвалар», Россия	Не менее 0,5	0,7 мг (соответствует)

## **1.5. Проблемные вопросы на рынке ДД**

Среди актуальных проблемных вопросов рынка ДД следующие:

1. Несовершенная регуляторная система учета пищевых продуктов для специального диетического употребления, функциональных пищевых продуктов и диетических добавок

2. Значительные изменения в законодательстве про учет лекарственных средств (внедрение более жестких стандартов к качеству лекарственных средств при их производстве и допуске на рынок).

3. На сегодня допуск на рынок специальных пищевых продуктов осуществляется путем проведения государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы, по результатам которой составляется заключение, которое утверждается главным государственным санитарным врачом Украины (или его заместителем). Положительное заключение служит основанием для государственной регистрации специального пищевого продукта.

Для большинства специальных пищевых продуктов, согласно заключению государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы, по результатам устанавливается: Объект экспертизы отвечает установленным медицинским критериям безопасности по показателям: содержанию токсичных элементов (свинец, мышьяк, кадми, ртуть), пестицидов (гексахлорциклогексан, ДДТ и его метаболиты, гептахлор, алдрин), радионуклидов (цезий-137, стронций-90), а также по микробиологическим показателям.

## **1.6. Гармонизация правовых норм относительно регуляции обращения ДД**

В связи с возможной конкуренцией диетических добавок с лекарственными средствами, западные фармацевтические компании инициировали разработку и принятие Директивы ЕС от 10 июня 2002 г. гармонизации правовых норм относительно регуляции обращения данных товаров.

Директива существенно ограничивает возможности производителей диетических добавок и направлена на более жесткие требования к их позиционированию и продвижению, особенно это касается ДД, содержащих лекарственное растительное сырье, биологически активные вещества (БАВ) которого обладают фармакологической активностью, поэтому изучение терапевтических доз, их биологического взаимодействия, исследования побочного действия и противопоказаний, показаний к применению является особенно важным.



(Директива 2002/46/ЕС диетические добавки DIRECTIVE 2002/46/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 10 June 2002

on the approximation of the laws of the Member States relating to food supplements)

К рішенням I Міжнародної научно-практичної конференції «Функціональні харчові продукти – диетическі добавки – як дійсний засіб різнопланової профілактики захворювань» внесені наступні пропозиції:

1. Восстановити роботу проблемної комісії МЗ України по розгляду питань належної класифікації і віднесення продукції до лікарських засобів, медичних імунобіологічних препаратів, виробів медичного призначення, спеціальних харчових продуктів, косметики;

2. Розробити порядок проведення експертизи матеріалів, представлених на державну реєстрацію спеціальних харчових продуктів заявленими спеціальними характеристиками (своєрідними), з метою підготовки експертного звіту щодо якості і ефективності спеціального харчового продукту;

3. Підготувати план заходів по розробці настанов, керівництв, монографій і фармакопейних статей для затвердження переліку речовин, які можуть застосовуватися в виробництві спеціальних харчових продуктів і їх гранично допустимих кількостей, вимог до вивчення їх безпеки, якості і ефективності.

В зв'язі з вищезгаданим, необхідно розробити і створити єдину програму, яка повинна містити вимоги до проведення санітарно-епідеміологічної і клініко-фармакологічної експертизи ДД, передшляхуючих державної реєстрації останніх, і проводиться з метою встановлення відповідності продукції діючим законодавчим і нормативним актам щодо якості і безпеки:

- здійснювати захист споживачів шляхом виявлення фальсифікованих і недоброякісних ДД, контроль продажу, просування і позиціонування ДД на фармацевтичному ринку;
- розробляти санітарні інструкції, що містять Перелік речовин (шкідливих, сильнодіючих, наркотических і т. д.), які здатні викликати негативний вплив на здоров'я людини і не можуть застосовуватися при виробництві ДД;
- розробляти і офіційно затверджувати Перелік лікарських рослин, які можна застосовувати при розробці ДД;

- проводить первичную экспертизу оценки заявки, документов и материалов, которые характеризуют предоставленную продукцию;
- определять потребности и объем необходимых исследований ДД;
- проводить необходимый комплекс санитарно-химических, микробиологических и других видов исследований и оценку этих результатов с целью подтверждения безопасности, идентификации компонентов рецептуры продукции, определения количественного содержания активно действующих компонентов;
- осуществлять экспериментальные исследования токсикологических, физиологических и метаболических эффектов для подтверждения безопасности ДД и заявленной эффективности;
- проводить клиническую оценку ДД, изучение специфической активности в эксперименте, исследование острой и хронической токсичности, биодоступности (при необходимости);
- проводить анализ относительно дозирования активных компонентов ДД относительно параметров физиологических пределов функциональной активности органов и систем человека;
- проводить контроль безопасности и показателей качества лекарственного растительного сырья, которое входит в состав ДД;
- оценивать результаты экспериментальных и клинических исследований (если такие были проведены производителем);
- оценивать результаты определения содержания основных компонентов и доброкачественности ДД (если такие были проведены производителем);
- проводить подготовку и оформление экспертного вывода, который включает проект этикетки на продукцию [1-26].

### 1.7. «За и против» приема ДД

Выделено несколько основных групп риска, отрицательных моментов, возникающих при длительном и бесконтрольном применении ДД:

1. Недостаточная изученность их действия, а следовательно, существование ДД с неподтвержденной эффективностью.
2. Побочные действия ДД. Например, хром входящий в состав ДД, предназначенных для коррекции веса, может вызвать поражение почек при применении в больших дозах.
3. Недостаточная изученность сочетаемости входящих компонентов.
4. Риск передозировки.

5. Содержание в ДД сильнодействующих лекарственных компонентов.

6. Непредсказуемое взаимодействие ДД с другими лекарственными средствами, которые принимает пациент.

7. Неблагоприятное действие ДД на плод во время беременности.

8. Нечеткие рекомендации врача по применению ДД.

9. В некоторых ДД используются компоненты животного происхождения, что может составлять определенный риск развития заболеваний прионного типа («коровье бешенство», бычий энцефалит).

8. Рекомендации по приему ДД.

Рекомендуется соблюдать следующие правила по использованию лекарственных растений:

- при плохом самочувствии обращайтесь к врачу;
- не принимайте ДД во время беременности;
- не принимайте ДД в период кормления ребенка;
- не давайте их детям;

- не принимайте больших доз любого средства;

- не принимайте никаких трав ежедневно;

- покупайте лекарственные травы с указанием ингредиентов и четким обозначением производителя.

9. Диетические добавки люцерны посевной

Люцерна посевная (*Medicago L.*) относится к семейству бобовые Fabaceae, произрастает на территории Украины и широко применяется в качестве кормовой культуры.

Это растение лидирует по содержанию минералов, белков и хлорофилла; содержит белки (до 21%) и аминокислоты, к тому же, в белке люцерны (Л), есть все незаменимые аминокислоты, которые обеспечивают нормальное развитие клеток и жизненные потребности уже сформировавшихся и стареющих клеток организма человека. Сумма свободных аминокислот в траве Л. — 1,3%, после гидролиза увеличивается до 6,9%. Трава Л. посевной содержит липиды (до 4,7%), много протеолитических ферментов, которые расщепляют белки и способствуют их усвоению. Трава Л. — одна из наиболее богатых минеральными веществами сырье. Минеральные вещества в Л. находятся в хорошо сбалансированном состоянии, что облегчает их усвоение. Л. — важный источник хлорофилла, она также содержит почти весь спектр витаминов: С, Е, К, Н, В1, В2, В12, В3, ВС, каротиноиды (β-каротин, зеаксантин, виолаксантин, флавоксантин). Трава Л. посевной содержит высокомолекулярные спирты: триакоэтанол, октакозанол, которые снижают уровень холестерина и липидов в крови. В кор-

нях Л. посевной обнаружены тритерпеновые сапонины: каулосапонин В, медикозиды А, Е, И, J, С, G, L, H, F, а также 13 производных меди-кагеновой кислоты, 2 — занговой кислоты, 4 — хедерагенин, соясапо-генол А, В, Е и гликозид байогенин. В Л. посевной идентифицированы карбоновые, фенолкарбоновые кислоты, флавоноиды, антоцианы, гликозиды кемпферола и мирицетина, изофлавоны, куместрол. Травя Л. — известный ингредиент ДД во многих странах. Это растительное сырье способствует заживлению эрозий, язв, открытых ран, нормализует состояние кровеносной системы, повышает эластичность артерий, снижает уровень холестерина в плазме крови, предотвращает развитие атеросклероза, стабилизирует уровень глюкозы в крови. Проявляет противовоспалительную активность, поэтому используют при хроническом и остром цистите, простатите, пептической язве, артрите, ревматизме и для увеличения лактации.

В НФаУ разработана субстанция Л., которую включили в состав следующих ДД: Медикабол - сухой экстракт травы люцерны с анаболизирующей активностью (патент Украины № 27307 опубликовано 25.10.2007., бюл. №17), патент Украины № 83956 опубликовано 26.08.2008., бюл. №16), «Альфальфин» - густой экстракт люцерны (ТУ У 15.8-3123477). Определение фенольных соединений в лекарственных средствах люцерны показано в табл. 1.4.

Таблица 1.4.

**Определение фенольных соединений в лекарственных средствах люцерны**

ДД	Содержание фенольных соединений, %
Сухой экстракт	10,40±0,40
«Альфальфин» - густой экстракт	10,10±0,50

В результате фармакологических исследований вышеназванные субстанции превысили препарат сравнения «Флавонобол» по анаболизирующей активности в среднем на 60%. Вышеуказанные ДД стандартизированы по основным действующим веществам, обуславливающим анаболическую активность.

**Выводы**

1. Фальсифицированные ДД (ФДД) до сих пор не привлекали внимание общественности, как фальсифицированные лекарственные

средства (ФЛС). По оценке экспертов, на рынке ДД почти 90% - подделки. Так, в Украине эта цифра обозначена в пределах 45-50%. Как и в случае с ФЛС, ФДД представляет реальную угрозу экономике нашего государства, отечественным производителям, здоровью граждан, так как производители ФДД находятся за пределами правового и экономического поля.

2. Данные по ДД, которые периодически появляются в литературе, не полностью отражают истинное положение проблемы, решить которую можно только комплексно, с участием всех заинтересованных сторон, по аналогии с концепцией развитых стран т.е. - обеспечение качества ДД, производство которых базируется на соответствующих требованиях всех надлежащих практик, в течение всего жизненного цикла - от создания - до реализации.

3. Использование богатой сырьевой базы Украины семейства бобовых является актуальным направлением для разработки технологий и состава новых ДД.

### Список использованной литературы

1. Барановский А.Ю. Диетология: руководство. – СПб, Издательский дом Питер, 2008. – 1020 с.
2. Боженков Ю.Г. Биологически активные пищевые добавки – связующее звено между фармакологией и диетологией. – М., 2006. – 32 с.
3. Гараева С.Н. Аминокислоты в живом организме / С.Н. Гараева, Г.В. Редкозубова, Г.В. Постолати: АН Молдовы, Ин-т физиологии и санокреатологии. – Кишинев: Б.и., 2006. – 552 с.
4. Гігієна харчування з основами нутриціології: Підручник; У 2-х кн. – Кн. 1. / Т.І. Аністратенко, Т.М. Білко, О.В. Благодарова та ін.; За ред. проф. В.І. Ципріяна. – К.: Медицина, 2007. – 528 с.
5. Гурвич М.М. Лечебное питание. Полный справочник / М.М. Гурвич, Ю.Н. Лященко. — М.: Эксмо, 2009. — 800 с.
6. Ковальов В.М., Павлій О.І., Ісакова Т.І. Фармакогнозія з основами біохімії рослин – Х.: Прапор, Видавництво НФАУ.– 2000. – 704 с.
7. Морозкина Т.С. Витамины: краткое руководство для врачей и студентов мед., фармацевт. и биол. специальностей / Т.С. Морозкина, А.Г. Моисеенок. – Минск: ООО «Асар», 2002. – 112 с.
8. Петровский К.С. Гигиена питания. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: «Медицина», 1975. – 400 с.
9. Пищевая химия / Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. Под ред. А.П. Нечаева. Изд. 4-е, испр. и доп. – СПб: ГИОРД, 2007. – 640 с.
10. Позняковский В.М. Актуальные вопросы современной нутрициологии: термины и определения, классификация продовольственного сырья и пищевых продуктов / Техника и технология пищевых производств. - № 3, 2012.

11. Попова Н. В. *Лекарственные растения мировой флоры* / Н. В. Попова, В. И. Литвиненко. – Х.: СПДФО Мосякин В. Н., 2008. – 510 с.
12. Скальный А.В. *Основы здорового питания: пособие по общей нутрициологии* / А.В. Скальный, И.А. Рудаков, С.В. Нотова и др. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 117 с.
13. *Фармацевтична енциклопедія* / ред. В. П. Черних, І. М. Перцев. □ 2-ге вид., доп. – К. : Моріон, 2010. – 1631 с.
14. *Фармацевтична Енциклопедія* / гол. ред. ради В. П. Черних. – К. : Моріон, 2005. – 848 с.
15. *Фізіологія харчування: підручник* / Павлоцька Л.Ф., Дуденко Л.В., Левітін С.Я. та ін. – Суми: Університетська книга, 2011. – 473 с.
16. *Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник* / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
17. *Dietary Supplements Compendium: 1st edition.* – The United States Pharmacopeial Convention. – Rockville, MD. – 2009. – 1836 p.
18. *Dietary Supplements of Plant Origin. A nutrition and health approach* / Edited by M. Maffei. – Taylor & Fransis Ltd. – London, New York. – 2003. – 242 p.
19. *Food Lipids. Chemistry, nutrition, and biotechnology: 2nd edition, rev. and exp.* / Edited by C.C. Akoh and D.B. Min. – Marcel Deccer, Inc. - New York. – 2002. – 1014 p.
20. *Herbal Products. Toxicology and clinical pharmacology: 2nd edition.* / Edited by T.S. Tracy and R.L. Kingston. – Humana Press. – Totowa, New Jersey. – 2007. – 300 p.
21. *Phytochemicals as bioactive agents* / Edited by W.R. Bidlack, S.T. Omaye, M.S. Meskin, D.K.W. Topham. - Boca Raton, Florida. - 2000. – 296 p.
22. *The Oxford Book of Health Foods. A comprehensive guide to natural remedies* / J.G. Vaughan, P.A. Judd. – Oxford University Press. - New York. – 2006. – 223 p.
23. Волошин О.І., Власюк В.Л., Лунник Д.Д. *Випадок смертельного отруєння морозником* // Фітотерапія. Часопис. – 2005. - №2. – С. 26-30.
24. Мнушко З.Н., Сотникова Н.В. *Пріоритети регулювання національного ринку біологічно активних добавок* // Фармацевтичний журнал. – 2005. - №6. – С. 21-25.
25. Мнушко З.Н., Сотникова Н.В., Євтушенко Е.Н. *Оцінка ринку біологічно активних добавок та характерних для нього видів ризиків* // Клінічна фармація. – 2005. – Т.9. - №2 – С.25-32.
26. Спиридонов С.В., Чуєшов В.І., Спиридонов В.М., Дмитрієвський Д.І. *Біологічно активні добавки, їх актуальність, проблеми створення* // Фітотерапія. – 2006. - №1. – С. 23-36.
27. Доровской А.В., Гладух Е.В., Тихонов А.И. и др. *Принципы и правила надлежащей производственной практики (GMP): Учебное пособие. Изд-во НФаУ. Х. – 2006. – 215с.*
28. *Краткая характеристика препаратов* // Мир медицины и лекарственных растений. – 2000. - №5-6. – 92с.

29. Мнушко З.Н. Тиманюк И.В. Содержание показателя доступности лекарственных средств // *Материалы II международной конф. «Створення, виробництво, стандартизація та фармакоекономічні дослідження нових лікарських засобів та біологічно активних добавок»*. X: - 2006. – С. 216-217.

30. Мнушко З.Н., Сотников Н.В. Регулирование оборота биологически активных добавок в Украине и за рубежом // *Провизор*. – 2005. - №11. – С. 9-12.

31. Элленхорн М. Дж. *Медицинская токсикология. Диагностика и лечение отравлений у человека: в 2 томах. Т.2. Пер. с англ.* – М.: Медицина, 2003 – 1044 с.

32. *Энциклопедия биологически активных добавок к пище. Российский регистр БАД.* – М.: «Издательство Новая Волна», 2003. – 528 с.

33. Балабой И.В. Нистрян А.К. *Растения, которые нас лечат.* – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1988. – С. 269-272.

34. Варнас П.Д. *50 способов похудеть (Пер. с англ.)* – М.: Крон – Пресс, 1996. – 224с.

35. Воробьев Р.И. *Питание: мифы и реальность.* – М.: Грегори, 1997. – 256с.

36. *Лікарські рослини. Енциклопедичний довідник / за ред. акад. А.М. Гродзінського* – К.: УРЕ, 1991. – 524 с.

37. Мкртумян А.М. *Ожирение – эпидемия 21 века.* // *Мат. науч.-практ. конф. «Ожирение. Современные подходы к терапии».* – К., 2000. – С. 93-94.

38. Путьрский И.Н. Прохоров В.Н. *Универсальная энциклопедия лекарственных растений.* – М.: Махаон, 2000. – 654 с.

39. Смолянский Б.Л. *Алиментарные заболевания (болезни неостаточного и избыточного питания).* – Л.: Медицина, 1979. – 264 с.

40. Старостина Е.Г. *Роль правильного питания в комплексной терапии ожирения* // *Мат. Науч.-практ. конф. «Ожирение. Современные подходы к терапии».* – К., 2000. – С. 46-47.

41. Харченко Н.В., Анохина Г.А. *Современные взгляды на ожирение и подходы к его лечению* // *Сучасна гастроентерологія, 2002. - №4 (10).* – С. 4-12.

42. *Азбука харчування. Лікувальне харчування / За ред. Столмакової Г.І.* – Львів: Світ, 1991 – 206 с.

43. *Гігієна харчування з основами нутріціології / Навч. Посібник за ред. В.І. Ціпріяна.* – К.: Здоров'я, 1999. – 567 с.

44. Григоров Ю.Г. *Особенности питания людей старшего возраста* // *Учебное пособие «Гигиена питания».* – К. – 1999. - С. 132-143.

45. Кобзар А.Я. *Фармакогнозія в медицині.* – К. – 2004. -479 с.

46. Козярин И.П. *Взаимосвязь питания и рака. Меры профилактики.* // *Сімейна медицина.* – 2002, №1-2. – С. 82-85.

47. Корзун В.Н. *Гігієна харчування.* – К. – 2003. – 234 с.

48. Мигунова Д.К. *Якщо у вас надмірна маса тіла.* – Київ: Здоров'я, 1984. – 40 с.

49. *Нутрициология / Под ред. В.Д. Ванханена. – Донецк: Донеччина, 2003. – С. 293-307.*
50. *Пересічний М.І., Корзун В.Н., Кравченко М.Ф. та ін.. Харчування людини і сучасне довкілля: теорія і практика. – Київ. – 2003. – 526 с.*
51. *Світко О.В. 800 років рецептам здоров'я. – К.: «Дім,сад, город», 1999. - 47 с.*
52. *Смолянський Б.Л. Алиментарные заболевания. – Лен.: Медицина, 1979. – С. 20-52.*
53. *Смоляр В.И. Рациональное питание. – К.: Наукова думка, 1991. – 365 с.*
54. *Смоляр В.І. Фізіологія та гігієна харчування. – К.: Здоров'я, 2000 – 336 с.*
55. *Справочник по диетологии / под ред. В.А. Тутельяна, М.А. Самсонова. – М.: Медицина, 2002. – 543 с.*
56. *Справочник практического врача . – М. – 1992. – С. 230-231.*
57. *Циприян В.И. Питание в профилактике опухолей. – К. – 2000. – 147 с.*
58. *Чекман С.І. Клінічна фітотерапія. Природа лікує. – К.: Рада, 2000. – 510 с.*
59. *Шелтон Г. Голодание спасает вашу жизнь: Пер. с англ. – М.: Ритм, 1991. -96 с.*
60. *Шенон С. Питание в атомном веке. – Минск: Беларусь, 1991. – 301 с.*
61. *Щелкунов Л.Ф, Дудка М.С., Корзун В.Н. Пища и экология. – Одесса. – 2000. – 516 с.*
62. *Деримедведь, Л. В. Харчування: dtv-Atlas / Л. В. Деримедведь, Г. Гаубер-Швенк, М. Швенк. – К., 2004. – 183 с.*
63. *Мейроуз, Г. Нутрицевтика как метод психокоррекции / Г. Мейроуз. – М. : Профит Стайл, 2009. – 256 с.*
64. *Ребров, В. Г. Витамины, макро- и микроэлементы / В. Г. Ребров, О. А. Громова. □ М. : ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 960 с.*
65. *Ших, Е. В. Клинико-фармакологические аспекты применения витаминно-минеральных комплексов в педиатрии : учеб. пособие / Е. В. Ших, Л. И. Ильенко. – М. : Медпрактика-М, 2008. – 96 с.*
66. *Сереброва, С. Ю. Взаимодействие микронутриентов при абсорбции компонентов витаминно-минеральных комплексов / С. Ю. Сереброва // Врач. – 2010. – № 3. – С. 13-15.*
67. *Микронутриенты в питании здорового и больного человека / В. А. Тутельян, В. Б. Спиричев, Б. П. Суханов, В. А. Кудашева. □ М. : Колос, 2002. □ 423 с.*
68. *Childs N.M. Examining the breadth of the Nutraceutical Frontier: From Agricultural sources to Policy Implementation // Journal of Nutraceuticals, Functional, and Medical Foods. – 1999. – Vol. 2. - №1. – P. 1-3*
69. *Childs N.M. Nutraceutical at the Millenium: Growth, Guidance and New Product // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods. – 2000. - №4. – P. 1-3*



70. Childs N.M. *Nutraceutical Industry Trends // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods.* – 1999. – Vol. 2. - №1. – P. 73-85.

71. DeFelice S.L. *Foundation for Innovation in Medicine Rationale and Proposed Guidelines for the Nutraceutical Research and Education Act. // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods.* – 1999. – Vol. 2. - №1. – P. 43-52.

72. Dvorkin L., Gardiner P., Whelan J. *Herbal Medicine Course Within Pharmacy Curriculum // Journal of Herbal Pharmacotherapy.* – 2004. – Vol. 4. - №2. – P. 47-58.

73. Jalili T., Wildman R.E.S., Medeiros D.M. *Nutraceutical Roles of Dietary Fiber // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods.* – 2000. – Vol. 2. - №4. – P. 19-34.

74. Kolossa E.M. // *J. of Pharmac. Marketing Practice.* – 1997. – Vol. 1. - №1. – P. 1-11.

75. Kupferberg N., Duffy J. *Information Resources for Nutraceuticals // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods.* – 2001. – Vol. 3. - №4. – P. 63-83.

76. Lubatkin M., Rogers R. // *Academy of Management J.* – 1995. - №6. – P. 45-53.

77. Meagher L.R. *The Third Dimension of Nutraceuticals: Adding Value Through Agriculture // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods.* – 1999. – Vol. 2. - №1. – P. 5-14.

78. O'Connell M.H. *Nutraceuticals and Social Ethics: An Introductory Inquiry into the Relationship Between Functional Foods and Economic Justice // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods.* – 2001. - Vol. 3. - №4. – P. 63-83.

79. *Pharmaceutical Industry Trends in Strategic Alliance Formation Between U.S. and Japanese Companies // J. Pharm. Marketing and Management.* - 1996. - Vol. 11. – P. 15-17.

80. Raman P., Patino L.C., Nair M.G. *Evaluation of metal and microbial contamination in botanical supplements // Phytopharm.* – 2005. - Vol. 6. - №1. – 24 p.

81. Sloan A.E. *The Hierarchy of Nutraceutical Markets 2000+: From Positive Eating to Problem Treating // Journal of Nutraceuticals, Functional and Medical Foods.* – 2000. - Vol. 2. - №4. – P. 5-17.

82. Yoshioka M., Ohnishi N., Egami S. et al. *Studies on Interactions Between Functional Foods or Dietary and Medicines // Phytopharm.* - 2005. - Vol. 6. - №1. – P. 29-30.

## Розділ 2/Chapter 2

# Використання дієтичних добавок рослинного походження в харчових раціонах геродієтичного призначення

Мостова Л.М., К.В. Свідло

## Full-value nutrition as constituent part of self-supporting evolutions and completed approach to health

Lyudmila Mostova\*, Karina Svidlo

*Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade  
and Economics, Kharkov, Ukraine*

---

**Abstract:** Food ration norms for specialized geriatric institutions were analysed and their discrepancy with giro-dietetic norms was determined. The model of energy value distribution between culinary product groups in daily gero-dietetic ration norms is proposed. The model food ration in compliance with requirements of FAO/WHO and Ukraine was created. It was tested in clinical conditions and was introduced in the specialized geriatric institutions and restaurant enterprises of Ukraine. Principles of giro-dietetic food nutrition are systematized and nutrient groups to keep older people main organism systems active are defined. Biological value of composite dietary plant additives is calculated. Criteria for optimization of giro-dietetic culinary product nutrient compositions which use dietary plant additives are grounded. Models of giro-dietetic culinary products are worked out. Giro-dietetic culinary technologies, which use dietary plant additives, were scientifically grounded and developed on the basis of theoretical and experimental studies. A scientific concept and possible concepts of its realization are proposed. Manufacturing schemes were worked out, mechanisms of regulating functional and technological flow properties of the developed culinary products were estimated. Natural laws of attaining high quality of giro-dietetic culinary products at the manufacturing and storage stages were obtained for the first time. HACCP study was carried out

**Keywords:** *giro-dietetic culinary products, dietary plant additives, ration norms, model food ration, older people*

---

\* Corresponding author e-mail: [htei.knteu@gmail.com](mailto:htei.knteu@gmail.com)

### Содержание

#### *Вступлення*

*2.1. Особливості харчового раціону людей старшого віку*

*2.2. Наукові основи створення кулінарної продукції геродієтичного призначення*

*2.3. Дослідження харчових раціонів у спеціалізованих геріатричних закладах України*

*Список використаних джерел*

*Додаток*

### 2.1. Особливості харчового раціону людей старшого віку

Проблема харчування в старості є дуже значущою в геронтології, тому найважливішим на сучасному етапі є вдосконалення існуючих та розроблення новітніх харчових раціонів оздоровчого призначення для людей старшого віку, що в останнє десятиріччя закріплюється законодавчими актами багатьох країн [1-6]. За словами академіка Д.Ф. Чеботарьова, «харчування - практично єдиний засіб, що пролонгує виду тривалість життя на 25 - 30%» [7]. Продукти здорового харчування можуть забезпечувати функціональне і збалансоване харчування для груп населення, орієнтованих за віком, об'ємом фізичних або ментальних навантажень і розрізняються за нутрієнтним складом і калорійністю.

Незбалансоване харчування є чинником розвитку функціональних порушень у людей старшого віку, особливо тоді, коли загострення хвороби виникає на тлі хронічної. Обмеження у харчуванні визначаються не тільки віком, а саме вікозалежними патологіями: порушення смаку та нюху, зменшення секреції слини, порушення жування через втрату зубів, важким ковтанням, задишкою, зниженням моторики стравоходу та шлунка, порушенням секреції кислоти та пепсину в шлунку, частковим запором, порушеннями секреції жовчі та хворобами сечового міхура [8-12]. Поширеність численних дегенеративних захворювань, зокрема серцево-судинних, багатьох форм раку, цукрового діабету, жовчнокам'яної хвороби, подагри, ожиріння пов'язують з надмірною калорійністю їжі за рахунок споживання жирів, простих вуглеводів, кухонної солі та одночасно із зменшеним використанням вітамінів, харчових волокон [4, 13-16].

Сьогодні параметри системи харчування людини визначає нутриціологія, тому що їжа забезпечує кожен клітину організму всіма

життєво важливими речовинами [17-18]. Процес оновлення внутрішнього середовища людини, особливо молекулярної структури, субклітинних систем і клітин різних органів і тканин організму залежить від харчування і становить собою постійний і майже константний параметр залежно від віку, статі, маси тіла [19]. Фізіологічна необхідність в енергії і харчових речовинах є комбінацією аліментарних факторів і направлена для збереження життєдіяльності та відтворення виду та підтримки адаптаційного потенціалу [20].

При старінні суттєві зміни виникають у травній системі. У результаті атрофічних процесів слизова оболонка шлунка стає більш тонкою, а її клітини, зокрема залозисті, стають менш диференційованими і більш спрощеними, що призводить до зниження і обмеження секреторної і моторної функції шлунка. Найважливішим порушенням функції травлення при старінні є зменшення кислотності шлункового соку, зниження концентрації ферментів та їх активності. Зниження секреції соку, ослаблення виділення соляної кислоти аж до повного її припинення і зниження ферментативної активності пепсину негативно позначається на функції шлункового травлення, а також на стан і характер кишкової мікрофлори, в якій починають різко переважати гнильні мікроорганізми. Ці зміни потребують підвищеної кількості пребіотиків (харчових волокон) у добовому харчовому раціоні для підтримки і розвитку кишкової мікрофлори [21].

При старінні суттєві зміни виникають у підшлунковій залозі. Відмічають атрофію її активних елементів, що призводить до зниження активності ферментів, які виробляються залозою. Особливо активно зменшується протеолітична активність соку підшлункової залози, значно менше змінюється ліполітична та амілолітична активність. Разом з цим у підшлунковій залозі зменшується утворення інсуліну, який сприяє засвоєнню вуглеводів в організмі [22]. У зв'язку з тим, що в старості спостерігається зниження гідролізу та всмоктування білків, у крові змінюється концентрація вільних амінокислот. Це приводить до перебудови амінокислотного обміну, зниженню використання вільних амінокислот для пластичних процесів, що ще більше поглиблює зміни ферментів, у тому числі й тих, які беруть участь у переварюванні їжі.

Уголев О. М. [23] вказував, що «хоча ще детально не вивчені характеристики порожнинного та мембранного травлення у старості, можливо розвиненість кишкових захворювань у старості саме й пов'язана з порушеннями мембранного травлення». Дану галузь знань він назвав «геронтологічними аспектами мембранного травлення». Характеризуючи взаємовідношення між порожнинним та мембранним трав-

ленням, він вказував, що в старості на фоні зниженого порожнинного травлення компенсаторно підвищується рівень мембранного гідролізу й таким чином гідроліз та засвоєння крохмалю практично не змінюється.

Деякі медичні дослідження [24-26] наводять статистику випадків ахлоргідрії для 28% людей, які старші 60 років, тобто зниження секреції шлункового соку та послаблення продукування організмом соляної кислоти. Падіння ферментативної активності пепсину призводить до повної функціональної недостатності шлункового травлення.

Аналіз ролі соціально середовищних та генетичних процесів у формуванні групового феномену довголіття дозволив встановити, що цей феномен - результат складної гармонійної взаємодії чинників середовища, а саме традиційного стереотипу харчування довгожителів, національних та генетичних особливостей [27]. Оптимальна величина споживання харчових і біологічно-активних речовин забезпечує реалізацію фізіолого-біохімічних процесів, закріплених в генотипі людини [28].

Рівень основного обміну знижується з віком на 16-20% і становить залежно від маси тіла і віку 1180...1720 ккал для чоловіків і 1100...1580 ккал для жінок. І оскільки в старості закономірно зменшується як рівень основного обміну, так і витрата енергії на фізичну активність, то й енергоємність раціонів необхідно знижувати. Знижувати споживання енергії необхідно поступово в міру старіння організму в цілому на 1/3 у період від 30 до 70 років [28-30]. Якщо калорійність добового раціону, що рекомендується, у віці від 20 до 30 років прийняти за 100%, то в 31...40 років її необхідно знизити до 97%, у 41...50 років — до 94%, у 51...60 років — до 86%, у 61...70 років — до 79%, після 70 років — до 69%. Проте в усіх цих випадках необхідно враховувати, що за 100% береться рекомендована енергетична цінність їжі. Фактична ж величина часто перевищує або не досягає рекомендованого рівня (табл. 2.1) [31].

Не слід допускати, щоб калорійність їжі перевищувала енергетичну потребу. Невиконання цього принципу геродієтики підвищує ризик розвитку і прогресування ожиріння, атеросклерозу, сахарного діабету, гіпертонічної хвороби. Причиною надлишкової калорійності частіше всього є продукти з високим вмістом жиру, кондитерські вироби і борошняні з вищих ґатунків борошна, цукор, солодощі тощо. Вживання цих продуктів слід обмежувати [32-40, 29].

Таблиця 2.1

**Норми фізіологічних потреб в енергії людей старших вікових груп, ккал/добу**

Група	Енергоємність добового раціону			
	ФАО/ВООЗ	Україна	Росія	Японія
<i>Чоловіки</i>				
60-74 р.	2050	1438	2300	1750
75 років й старші	2050	1438	2300	1600
<i>Жінки</i>				
60-74 р.	1700	1295	1975	1450
75 років й старші	1700	1295	1975	1300

Білок прийнято вважати есенціальним нутрієнтом, що зумовлено його біохімічними і фізіологічними функціями. Харчові білки виконують важливу захисну роль — підвищують стійкість організму до впливу різних інфекційних, токсичних агентів, а також нервово-психічного напруження, стресових ситуацій. При достатньому рівні його в раціоні найбільш повно виявляються і біологічні якості інших нутрієнтів (жирів, вітамінів, мінеральних елементів). Слід підкреслити, що потреба в білку людей похилого віку чітко не визначена. Рекомендації щодо його оптимального вмісту коливаються в досить широких межах — від 0,5 до 1,4 г/кг маси тіла [41-44]. Як свідчать експериментально-клінічні матеріали Інституту геронтології, його частка, що прийнята для більш молодого віку, у старших вікових групах має бути знижена, бо використання високобілкового харчування у людей похилого віку супроводжується не покращенням, а погіршенням екскреторної функції нирок, функціонального стану серцево-судинної системи і загального самопочуття. Рекомендовані величини білка для людей старших вікових груп (табл. 2.2) мають бути на рівні 0,8...1,0 г на 1 кг маси тіла.

У раціональному харчуванні збалансованість за амінокислотним складом досягається за рахунок 55% білка тваринного походження і 45% рослинного [45-46]. Але при старінні слід збільшити вживання білка рослинного походження. Потребу в тваринних білках краще задовольняти за рахунок рибних, молочних і кисломолочних продуктів [47-50]. М'ясо та м'ясні продукти є важко доступними до дії ферментів, а однією з найважливіших властивостей білка є швидкість перетравлювання. За швидкістю перетравлювання харчові білки розташовані

так (max→min): рибний, молочний, м'ясний, злаковий (найгірше перетравлюються білки крупів) [51, 10].

Таблиця 2.2

**Норми фізіологічних потреб в основних харчових речовинах людей старших вікових груп, г/добу**

Пол та вікова група	Білки			Жири			Вуглеводи		
	ФАО/ ВООЗ	Україна	Японія	ФАО/ ВООЗ	Україна	Японія	ФАО/ ВООЗ	Україна	Японія
Чоловіки від 60 років	76,9	74	65	68,3	72	55	281,9	428	333
Жінки від 60 років	63,8	60	65	56,7	61	55	233,8	365	305

Встановлено [10, 35], що перетравлення білка порушують такі антихарчові речовини, які містяться у квасолі, гороху, сої, вони знижують активність травних ферментів й важко засвоюються. Саме тому геродієтетика рекомендує зменшити кількість бобових в раціоні, а з тваринних білків віддавати перевагу рибним та молочним. Особливу роль для людей старшого віку відіграють такі амінокислоти, як: лізин, метіонін, цистин та триптофан. Амінокислотний склад продукту геродієтичного призначення повинен у 100 г містити (г): лейцину – 7, ізолейцину – 4, лізину – 5,8, метіоніну + цистину – 3,5, фенілаланіну + тирозину – 6, треоніну – 4, триптофану -1,2, валіну – 5 [46].

Жировий компонент їжі має для організму досить різноманітне значення. По-перше, це джерело енергії для організму, по-друге, він є носієм важливих біологічно активних речовин (ПНЖК, жиророзчинних вітамінів, фосфоліпідів, стеринів), що впливають на смак їжі, сприяють засвоєнню ряду нутрієнтів (жиророзчинних вітамінів) [52-53]. У той же час відомо, що високий вміст в їжі жирів тваринного походження, до складу яких входять довголанцюгові НЖК, сприяє порушенню ліпідного обміну і розвитку атеросклерозу [33-34, 20, 42]. Крім того, експериментальними і клінічними дослідженнями в Інституті геронтології України було показано, що жири тваринного походження і маргарин призводять до розвитку гіперліпідемії, зсуву кислотно-лужної рівноваги у бік ацидозу, що в цілому сприяє розвитку передтромбових станів у людей старшого віку [46, 54].

Історично першою моделлю продовженого життя було підвищення його терміну за рахунок зниження загальної енергоємності харчування, а саме за рахунок зниження споживання жирів. Характер і виваженість цих змін певною мірою залежать від природи жиру, його жирнокислотного складу. Встановлено, що саме жири, багаті НЖК (лауринова, міристинова, пальмітинова, стеаринова), підвищують рівень холестерину (ліпопротейдів низької щільності) і сприяють розвитку ішемічної хвороби серця [55-56]. Протилежну дію проявляють ПНЖК, до яких належать лінолева, ліноленова, а також ейкозапентаєнова та докозагексаєнова кислоти. Ці ЖК належать до сімейства жирних кислот  $\omega$ -3 і  $\omega$ -6 (названих так за місцем подвійного зв'язку). В останні роки їм приділяється особлива увага і вважається, що вони виявляють виражені протекторні властивості. Джерелом їх є морська риба (особливо північних морів), а також льняна, рапсова та інші олії.

У старості підвищується потреба в ПНЖК взагалі й особливо в лінолевій кислоті, яка знижує рівень шкідливого холестерину в крові, та ліноленовій кислоті, яка перешкоджає утворенню тромбів. Але надмірна кількість ПНЖК також небажана тому, що викликає утворення ланцюгових реакцій та процесів перекисного окислення ліпідів у клітинах організму людини. Ідеальною в цьому плані є мононенасичена олеїнова кислота, велика кількість якої (80%) міститься в оливковій олії. Доведено [53, 57], що олеїнова кислота впливає на склад клітинних мембран, активність ферменту цитохромоксидази та вміст коензиму Q в мітохондріях, зменшує пероксидацію, а також не викликає утворення ланцюгових реакцій, оскільки вони потребують присутності жирних кислот з двома або більшою кількістю ненасичених (подвійних) зв'язків.

Геродієтика рекомендує зменшення частки як загального жиру, так і жиру тваринного походження. Загальна кількість його в раціонах харчування людей старшого віку не повинна перевищувати 0,8-1,0 г на кг маси тіла. Частка жиру в загальній калорійності має бути зменшена до 25-30%, вміст рослинних жирів — не менше 1/3 загальної кількості (2/3 з них мають надходити в нерафінованому вигляді). Співвідношення ПНЖК до НЖК має бути не менш 0,6; вміст найбільш активної лінолевої кислоти — 7 % енергетичної цінності раціону [53, 58]. Велике значення для профілактики серцево-судинних захворювань має рівень споживання харчових речовин, що нормалізують ліпідний обмін так званих ліпотропних факторів. До них належать холін, метіонін, фосфоліпіди, стерини, лецитини та ін., які містяться в рослинних оліях, твердих сирах, яловичині, гречаній крупі та ін. [58-60, 2, 56].



Вуглеводи є джерелом енергії, що легко мобілізуються, і через проміжний обмін беруть участь в синтезі ліпідів, амінокислот, нуклеїнових кислот та інших біологічно важливих сполук. Надлишкове споживання вуглеводів супроводжується звичайно підвищеним відкладанням їх в жирових депо. Недостатність вуглеводів, як правило, сприяє підсиленню окислення ендогенних жирів і, як наслідок, ацидозу, кетонурії, порушенню білкового обміну [52, 46, 61].

Разом з тим, виявлено [36, 62-63], що підвищення частки ди- і моносахаридів у харчуванні чітко корелює з частотою розвитку атеросклерозу. Прості сахариди, що постійно надходять до організму у великій кількості, крім змін у метаболізмі вуглеводів, призводять і до порушень ліпідного обміну. Протилежну дію виявляють полісахариди (рослинні — крохмаль й тваринні — глікоген). Хоча крохмаль досить швидко всмоктується в кишечнику, він надходить до організму в основному в складі хлібопродуктів, круп, макаронних виробів і овочів, фруктів, у яких міститься багато харчових волокон, що нейтралізують дію легкозасвоюваних простих вуглеводів. Частка вуглеводів у загальній калорійності харчування має складати 55...60%, мають переважати складні вуглеводи, а вміст легкозасвоюваних простих вуглеводів (головним чином цукру) повинен бути знижений до 30...35 г/добу. Велика увага має приділятися надходженню з їжею харчових волокон (слабко - і неперетравлювана клітковина, пектинові речовини), які забезпечують нормальну моторику кишечнику, слугують як субстрати для підтримання і росту кишкової мікрофлори, сприяють виведенню холестерину з організму. Їхня кількість у раціоні має становити не менше 25 г/добу [8, 31, 43, 45, 64-68].

Вітаміни і мінеральні елементи входять до складу ферментів й зумовлюють протікання практично всіх метаболічних процесів в організмі, їх потреба у старості підвищується. Це пов'язано з розвитком у старості ендогенної вітамінної недостатності; з наявністю множинної патології, що призводить до підвищеної потреби в них; з дефіцитом вітамінів у фактичному харчуванні [69-70]. Особливий інтерес викликає аналіз потреб у вітамінах, які є антиоксидантами та мають геропротекторний ефект. На фоні необхідності зниження калорійності харчування їх слід задовольняти за рахунок овочів, фруктів, продуктів моря, кисломолочних продуктів з високим вмістом біологічно активних речовин [12, 71-72].

Основними мінеральними речовинами, якими необхідно поповнювати раціон, є Ca, K, Mg, Na, Fe, Zn, Co, Cu, Mn, Se. Особливо необхідним є введення до раціону страв багатих на кальцій, який бере участь у формуванні кісткової тканини (99% кальцію в організмі при-

ходить на кісткову тканину та зуби), процесах зсідання крові, зменшення проникності судин. Засвоєння кальцію залежить від його співвідношення в продуктах та стравах з іншими нутрієнтами і, насамперед, фосфором, надлишок якого в їжі сприяє утворенню нерозчинних солей кальцію, які зменшують його засвоєння. Найбільш сприятливим для осіб старшого віку співвідношенням Ca:P:Mg є 1,0:1,5:0,5. Магній бере участь у ферментативних процесах, має судинорозширювальну й сечогінну дію. При його дефіциті відзначається сонливість, тремор, ністагм, м'язова слабкість, відкладення солей кальцію на стінках артеріальних судин і серцевих м'язах [54, 73-75].

Не менш важливе значення має забезпеченість раціонів калієм, який необхідний для функціонування серцевого м'яза, нервової і м'язової тканин і для підтримки водно-сольового балансу. Рекомендована величина його знаходиться на рівні 2000...3500 мг/добу. Дефіцит калію у осіб старшого віку супроводжується прогресуванням артеріальної гіпертензії, аритмій, зниженням толерантності до глюкози, що вказує на значимість його при коронарній патології. Для збагачення їжі солями калію рекомендується споживання овочів, фруктів, ягід (капуста, баклажани, картопля, чорнослив, абрикоси, кавуни, шипшина). Натрій є важливим компонентом позаклітинної рідини, активним регулятором водного балансу в організмі і, за даними іноземних експертів, споживання його вже на рівні 3,2 г/добу є достатнім. Встановлений зв'язок між величиною споживання натрію і підвищенням кров'яного тиску з віком вказує на необхідність зменшення його в раціоні (не більше 6 г/добу). Дотримання положення недосолювання їжі — один із основних принципів харчування людей із захворюваннями системи кровообігу [76-78]. Велику роль у процесах кровотворення має забезпечення раціонів залізом, що бере участь у формуванні гемоглобіну, і недостатнє споживання його може призвести до розвитку залізодефіцитної анемії [17, 42]. Неодмінною умовою ефективності біологічної дії раціонів є збагачення їх продуктами з йодом та харчовими продуктами з такими слідовими мікроелементами, як фтор, кобальт, нікель, молібден, оскільки у зв'язку з функціональними віковими змінами всмоктуваності шлунково-кишкового тракту надходження їх в організм знижується [35, 22, 79-81].

Виконання вимог даного принципу є запорукою профілактичного напрямку раціонів стосовно розвитку в старості вікозалежної патології (атеросклероз, ІХС, сахарний діабет, остеопороз тощо) [1, 8, 83-84]. Співробітниками АМН України розроблено і клінічно апробовано в Інституті геронтології АМН України такий набір продуктів, який скорегований відповідно до принципів геродієтики та нових норм

харчування [20], що дозволяє в оптимальному ступені забезпечити організм людей старших вікових груп харчовими речовинами й енергією (табл. 2.3). Енергетична цінність пропонованого набору продуктів — 2200 ккал. Він містить 74,0 г білка (у т. ч. тваринного — 42,8 г), високий і збалансований вміст замісних і незамінних амінокислот, вуглеводів — 330,5 г, органічних кислот — 8,7 г, баластових речовин — 39,5 г, жирів — 72,0 г, у т. ч. рослинних — 27,5 г, поліненасичених жирних кислот — 17,6 г, лінолевої кислоти — 16,6 г, фосфоліпідів — 3,9 г; вміст мінеральних речовин: кальцію — 1037 мг, фосфору — 1505 мг, калію — 5187 мг, магнію — 660 мг, заліза — 24 мг.

Даний набір продуктів дозволяє забезпечити високу вітамінну потребу людей старших вікових груп. Так, вміст тіаміну в ньому становить 1,47 мг, рибофлавіну — 1,56 мг, піридоксину — 2,9 мг, ціанкобаламіну — 4,5 мг, фолацину — 246 мг, аскорбінової кислоти — 348 мг (без врахування втрат при кулінарній обробці, які становлять 50-60%). Запропонований набір продуктів, адекватний потребам людей літнього віку (60...74 років).

При організації харчування людей більш старшого віку (75...89 років і довгожителів — 90 років і більше) при дотриманні всіх принципів при кулінарній обробці, які становлять 50-60%). Запропонований набір продуктів, адекватний потребам людей літнього віку (60...74 років). При організації харчування людей більш старшого віку (75...89 років і довгожителів — 90 років і більше) при дотриманні всіх принципів геродієтики варто знижувати енергоємність їжі на 10% за рахунок загального обмеження витрати продуктів.

У своїй останній монографії Покровський О.О. [85] вперше звернув увагу вчених на ще не вивчений пласт мінорних біологічно

Таблиця 2.3

**Середньодобовий набір продуктів, що рекомендується для людей старших вікових груп**

Продукти	Маса (брутто), г/добу
Хліб житній	150
Хліб пшеничний	75
Мука пшенична	20
Крохмаль	2

## Використання дієтичних добавок рослинного походження ...

Макаронні вироби	10
Крупа та бобові (переважно вівсяна, гречана, кукурудзяна, пшоняна, квасоля)	40
Цукор, цукерки (молочні неглазуровані), халва	30
Мед натуральний	20
Картопля	320
Овочі — всього, в т. ч.:	690
<i>Буряк</i>	120
<i>Морква</i>	90
<i>Капуста білокачанна (свіжа, квашена) та ін.</i>	240
<i>Цибуля (ріпчаста)</i>	60
<i>Горошок зелений</i>	20
<i>Інші овочі (помідори, огірки, перець, зелень та ін./</i>	160
Фрукти, ягоди, цитрусові, баштанні	400
Соки (яблучний, абрикосовий, сливовий, персиковий з м'якоттю)	100
Фрукти (сушені)	20
М'ясо (яловичина, кури, індичка, кролик нежирних сортів)	100
Риба	55
Продукти моря (кальмари, морська капуста, паста криля, мідії та ін.)	25
Молоко	100
Кисломолочні (кефір 1%, ряжанка, простокваша, йогурт та ін.)	200
Сир м'який 5%, сири тверді	30
Сметана 15%	10
Жири тваринні (масло вершкове, сало свиняче)	15
Олія рослинна (соняшникова, кукурудзяна, оливкова, рапсова та ін.)	20
Яйця (дві-три один. на тиждень)	14
Чай	1
Кава	2

активних речовин, джерелом якого є харчові продукти (табл. 2.4). Вже сьогодні нутриціологами розшифровані десятки речовин, які мають прямий вплив на генетичний апарат людини, здатні викликати експресію чи пригнічення генів, що відповідають за синтез життєво важливих ферментів чи білків, суттєво змінюючи протеомний чи метаболічний профіль організму [18].

Таблиця 2.4

**Норми споживання мінорних біологічно активних речовин зі встановленою фізіологічною дією**

Показник	Норми споживання за добу
Інозит (B <sub>8</sub> ), мг	500
L-карнітін, мг	300
Коензим Q <sub>10</sub> (убіхінон) , мг	30
Ліпоєва кислота, мг	30
Метилметионін-сульфоній, мг	200
Оротова кислота (B <sub>13</sub> ), мг	300
Параамінобензойна кислота, мг	100
Холін (B <sub>4</sub> ), мг	500
Кобальт, мг	10
Кремній, мг	30
Індол-3-карболи, мг	50
Флавоноїди, мг	250
у тому числі катехіни	100
Ізофлавоноїди, ізофлавоноглікозиди, мг	50
Рослинні стерини (фітостерини), мг	300
Глюкозамін сульфат, мг	700

Протягом останніх років відмічається стійке погіршення показників здоров'я населення України у всіх регіонах. За даними експертів ВООЗ [86-89] найбільший вплив на смертність від основних неінфекційних хвороб мають 7 факторів ризику, чотири з яких безпосередньо пов'язані з харчуванням населення (гіпохолестеринемія, надлишкова маса тіла, зловживання алкоголем, недостатнє споживання фруктів і овочів). Усі ці фактори ризику надзвичайно актуальні і для населення України [20].

Вчені Інституту геронтології АМН України аналізуючи сучасний стан проблеми геродієтики в Україні на початку ХХІ ст. [90] визначали, що хоча захворюваність та смертність населення України від вікозалежної патології (атеросклероз, гіпертонічна хвороба, ожиріння, онкологічна патологія, діабет інші) висока, в країні відсутні дослідження про вивчення ролі лікувального харчування при даній патології.

Численні дослідження проведені науковцями за кордоном [12, 43, 50, 91-96] свідчать про те, що застосування лікувального харчування суттєво гальмує розвиток вікозалежної патології та підвищує тривалість життя у популяції. Так, застосування дієтичних рекомендацій (зниження енергетичної цінності раціонів на 25% і споживання білка на 12% від рекомендованих норм) і підвищена фізична активність сприяє зниженню смертності від атеросклерозу на 40% серед американців [92].

За даними закордонних вчених зниження квоти білка, а саме триптофану, обмеження енергетичної цінності і збагачення харчових раціонів нутрієнтами, що мають геропротекторні властивості та впливають на кислотно-лужний баланс в організмі, суттєво подовжує тривалість життя саме старих (20-місячних), а не молодих тварин на 10...20% [97-99, 75]. Аналогічні дані були отримані Gary A. Wittert з Університету Аделаїди (Південна Австралія), Victoria H. Hawk з Duke University Medical Center (Дурхан, Північна Кароліна, США), Juergen Martin Bauer з Friedrich Alexander Universitat Erlangen (Нюрнберг, Німеччина), Zeina Nahhas з Industry Representative Beirut (Бейрут, Ліван), тобто підтверджується вченими по всьому світу, які вивчають біологію старіння.

Роль аліментарного фактору в нормалізації вікових змін функціональних систем, обміну речовин в організмі у повній мірі виявляють науковці США, Канади, Європи та Азії [92-93, 5, 38, 100]. У своїх публікаціях вони стверджують, що застосування збалансованих харчових раціонів приводить до нормалізації вікових змін ліпідного, вуглеводного і білкового обміну, функціонального стану основних систем організму, кислотно-лужної рівноваги, процесів перекісного окислення ліпідів, підвищенню тривалості життя. У харчуванні людей старшого віку повинні бути обмежені чи виключені харчові речовини, що призводять не тільки до порушення ліпідного обміну (антисклеротична направленість, адекватне зниження енергетичної цінності), але й будь-якого обміну речовин і функцій організму. Крім того, у працях як вітчизняних, так й закордонних вчених [83, 91, 101-110] встановлено значне гальмування процесів старіння на всіх рівнях біологічної ор-

ганізації, виражене гальмування розвитку вікозалежної патології, у тому числі й онкологічної. До аліментарних чинників з подібним ефектом віднесено: знижений вміст білка, особливо амінокислоти триптофану, тваринного білка і підвищений вміст лізину та цистину, токоферолу, вітамінів групи В, ейкозапентоєнної, ліполевої та інших кислот. Однак, ефект вище перелічених нутрієнтів не досягає впливу який є при обмеженні за калорійністю харчових раціонів, не перевищуючи 10...30% подовження тривалості життя порівняно з контролем.

Вченими Інституту геронтології АМН України вивчалось [32] фактичне харчування сільських мешканців методом добового відтворення, які проживають у Центральному (Київська, Черкаська обл.), Південному (Одеська, Миколаївська обл.) та Західному (Закарпатська, Чернівецька, Львівська обл.) регіонах України. Визначено регіональні особливості харчування та ступінь постаріння населення досліджених регіонів. Найкращі показники фактичного харчування спостерігаються у Західних регіонах, далі Центральний регіон та найбільш несприятливої тенденції по відношенню до здоров'я спостерігаються у Південному регіоні України. Темпи старіння чоловіків у всіх регіонах вищі (+7,2±0,5...+9,1±0,6), ніж темпи старіння жінок (+4,1±0,4...+5,3±0,4). Якщо врахувати, що рівень освіти, умови і характер праці, соціальна і медична допомога, умови життя приблизно однакові у сільських мешканців усіх регіонів, то можливо припустити вплив на цей процес інших факторів, зокрема особливостей харчування. Виявлено виражені статеві розходження в харчуванні чоловіків і жінок, в основі яких лежать тільки біологічні причини. Найбільш загальними особливостями харчування жінок порівняно з чоловіками є знижене споживання хлібопродуктів, м'ясопродуктів та алкоголю. Кількість білка в раціоні чоловіків усіх регіонів практично відповідала віковим нормам, тоді як у всіх жінок можна констатувати нестачу білка в раціоні в середньому на 20%. При характеристиці жирового компонента їжі, слід зазначити, що тільки в західному регіоні його кількість і співвідношення між тваринними і рослинними жирами відповідали рекомендованій нормі. У центральному (на 29%) і південному (на 43%) регіонах кількість жиру в харчуванні була вища. Величина споживання рослинного жиру у чоловіків центральних регіонів склала 9,3%, у жінок - 14,8%, у південному - 10,5% і 15,7%, відповідно, замість тих, що рекомендується (30-35% від загальної кількості жиру). Така жирова спрямованість раціонів харчування в центральному і південному регіонах України спричинила собою як збільшення холестерину їжі у 1,5...2 рази, так і низьке співвідношення поліненасичених жирних кислот до насичених (0,3...0,4 замість 1,0). Вуглеводний компонент їжі характеризується

значним споживанням простих моно- і дисахаридів і низьким – харчових волокон у центральному і південному регіонах. Вміст клітковини в західному регіоні в середньому склав 12,8-10,8 г/добу проти 8,9-7,3 г/добу (у центральному) та 6,4-5,4 г/добу (у південному). Харчування сільських мешканців західного регіону України за своїми характеристиками подібне до особливостей харчування сільських мешканців Грузії й Азербайджану, тобто велика кількість овочів, фруктів, молочнокислих продуктів, зернобобових, низьке споживання цукру, саме тут виявлений найвищий рівень тривалості життя в країні [29, 111].

За висновками вчених ННЦ (Інститут кардіології ім. акад. М.Д. Стражеська) АМН України [55], що проводили 25-річний моніторинг особливостей харчування в чоловічій популяції, відмічається різке відхилення від норм біологічно активних речовин в раціонах чоловіків похилого віку: вміст ретинолу складає  $0,52 \pm 0,24$  мг замість рекомендованого 1,0 мг, рибофлавіну  $1,38 \pm 0,18$  мг замість рекомендованих 2,0 мг, нікотинової кислоти  $16,39 \pm 2,06$  мг замість рекомендованих 22,0 мг, аскорбінової кислоти  $64,64 \pm 9,7$  мг замість рекомендованих 80,0 мг, кальцію  $482,6 \pm 79,3$  мг замість рекомендованих 1200,0 мг, магнію  $411,3 \pm 40,7$  мг замість рекомендованих 400,0 мг, цинку  $12,1 \pm 0,5$  мг замість рекомендованих 15,0 мг. Кількість вживаного холестерину залишається дуже високою 370,9 мг за добу, хоча чоловікам у віці 60 років і більше рекомендується обмежити холестерин до 250 мг/добу. Співвідношення нутрієнтів у раціоні становить 1,0:1,6:3,9 замість рекомендованих геродієтикою 1,0:0,9:3,5, тобто спостерігається дуже надмірне споживання жирів й недостатня кількість харчових волокон у раціоні (12,8 г/добу замість рекомендованих 25–40 г/добу), яке викликає такі вікозалежні патології як атеросклероз, ішемічна хвороба серця, цукровий діабет, метаболічний синдром тощо.

Проблеми тривалості життя та можливість впливу на неї зовнішніх чинників завжди знаходяться у центрі уваги вчених-гігієністів. Вчені Державного науково-дослідного центру з проблем гігієни харчування у 2006–2007 рр. [1] вивчали рівні споживання основних груп харчових продуктів населенням центральних областей України з метою своєчасної профілактики нутрієнтних дефіцитів. Аналіз харчування показує, що рівень споживання продуктів з високою біологічною цінністю, а саме м'ясо та м'ясопродукти, риба та рибопродукти, молоко та молокопродукти, фрукти, овочі та ін., дуже низький на фоні надмірного споживання хлібобулочних, кондитерських виробів, цукру та простих вуглеводів, тваринних жирів, картоплі, макаронних виробів. У всіх вікових групах відмічено дефіцит кальцію



на 21...29%, дещо нижчий від фізіологічних потреб вміст фосфору, заліза та магнію та вітамінів-антиоксидантів (А – у межах 13,9...25,9%, Е – у межах 22,3...25,1%, С – 8,9...22,3%), а також вітамінів групи В (В2, В6, В9, В12).

Серед багатьох чинників зовнішнього середовища, що постійно діють на організм людини, суттєве місце надається харчуванню. Особливу увагу сьогодні приділяють вивченню середньодобового набору «моделі фізіологічного старіння», а саме довгожителів України. Вчені Інституту геронтології АМН України [112] вивчили фактичний раціон 36 українських довгожителів з Чернігівської, Черкаської та Київської областей. Аналіз даних середньодобового набору продуктів харчування довгожителів свідчить про наявність усіх основних продуктів, хоча їх асортиментна структура декілька обмежена та нараховує 28 найменувань. В цілому набір продуктів довгожителів України близький до набору продуктів харчування довгожителів Грузії та Азербайджану. Енергоємність раціонів відповідає рекомендованій та частка у загальній калорійності білків, жирів та вуглеводів складає 12%, 29% та 59% відповідно, їх співвідношення 1:1:4,8. Вміст холестерину був нижче вікової норми та складав 240 мг/добу, а співвідношення ПНЖК і НЖК - 0,66 при нормі 0,6. Вміст полісахаридів перевищував рекомендовану норму на 20%, а вміст вітаміну Є був вище рекомендованої норми на 26-29%, співвідношення вітаміну Є до ПНЖК, яке характеризує антиоксидантний захист їжі, було у 1,5-2 рази вищим за рекомендовану норму. Кількість вітамінів А, С, В1, В2 і В6 відповідало нормі.

Результати досліджень харчового статусу людей різних вікових груп, у т. ч. старшого віку, доказують, що змінами у харчуванні можливо затримати процеси старіння, впливаючи на більшість його складових. Повноцінне за біологічно активними речовинами та речовинами геропротекторної дії, обмежене за калорійністю харчування (на 40-50%) показує подовження життя майже у 2 рази [82, 44]. Харчування довгожителів України характеризується молочно-рослинною орієнтацією, практично не має усіх основних аліментарних чинників ризику розвитку вікозалежних патологій, в цілому відповідає сучасним вимогам геродієтики. Враховуючи синергізм дії багатьох аліментарних антиоксидантів, можливо стверджувати, що рівень їх споживання людьми старших вікових груп достатній для активного захисту від процесів перекисного окислення, тобто створює передумови здоров'ю та довголіттю. Особливості харчування довгожителів Грузії, Азербайджану та України вказують на загально біологічну закономірність ролі харчування у реалізації програми здоров'я і тривалості життя людини.

Зміна вікової структури населення України, яка привела до підвищення популяції населення після 60 років, повинна привести до взаємної координації служб охорони здоров'я зі службами соціального забезпечення. Тільки в Україні самотні непрацездатні громадяни після 60 років нараховують більш 3 млн. осіб. У сучасних умовах соціальний статус пенсіонерів погіршується, витрати на продукти харчування, предмети першої необхідності різко зменшуються, ставлячи самотніх непрацездатних громадян на межу виживання [113-115]. Соціальне обслуговування в Україні надається громадянам старшого віку вдома, в спеціалізованих державних та муніципальних закладах, серед цих закладів нараховується 68 будинків-інтернатів для пристарілих та інвалідів, 18 геріатричних пансіонатів та 145 будинків-інтернатів для психохроніків. Доведено [115, 4, 6], що недостатність харчування у людей старшого віку підвищує ризик розвитку захворювань та смертності. Більш 70% підопічних будинків-інтернатів мають множинні патології, які носять хронічний характер, їх кратність становить в середньому 4,7 на одну людину, що потребує великого обсягу лікувально-профілактичної роботи [113-114, 116].

Оскільки доведено, що дієвим чинником затримання прогресування вікозалежних патологій є раціональне харчування, суто важливо вирішення питання організації харчування у спеціалізованих державних та муніципальних закладах України. В останні роки неможливо було вести мову про єдині принципи дотримання геродієтики у всіх закладах, бо ці заклади не мають єдиної системи фінансування. Доволі вільно допускається заміна одних продуктів на інші, підвищуються добові норми хліба, картоплі, крупів за рахунок зменшення свіжих фруктів, соків та інше. Все це призводить до суттєвих порушень у харчуванні людей старшого віку.

Вчені Інституту геронтології АМН України [115] вивчили стан харчування у 37 будинках-інтернатах для пристарілих та інвалідів, у яких проживає 8580 осіб, раціони харчування вивчалися за 70 показниками, проаналізовано меню-розкладки за два сезони в цілому за 1110 днів. Аналіз отриманих даних показав (табл.2.5), що фактичне харчування для контингенту спеціалізованих державних та муніципальних закладів є низько енергетичним та недостатнім за вмістом як основних нутрієнтів, так й біологічно активних речовин.

Таблиця 2.5

**Набір продуктів та їх дефіцит у раціонах фактичного харчування  
непрацездатних громадян у державних соціальних закладах**

Продукти	Фактичний вміст в раціонах	Рекомендована кількість*
Хліб житній	107,3±15,8	150
Хліб пшеничний	280,1±18,8	150
Борошно пшеничне	30,1±2,0	20
Макаронні вироби	24,4±1,9	20
Крупи, бобові	95,9±3,4	45
Цукор	53,4±1,8	60
Цукровмісні продукти (цукерки, варення, халва)	8,9±1,2	-
Картопля	409,4±17,6	400
Інші овочі разом, у т.ч.	515,5±15,2	650
Буряк	84,51±6,5	120
Морква	57,3±4,8	90
Капуста	127,1±9,6	240
Цибуля	39,4±3,3	60
Інші овочі	207,3±8,7	140
Фрукти, ягоди, баштанні	70,2±14,2	270
Соки	58,7±7,7	150
Сухофрукти	10,2±1,5	30
М'ясо, м'ясопродукти	105,1±3,9	120
Риба, рибопродукти	42,1±5,1	100
Молоко	231,5±15,7	250
Кисломолочні продукти	49,4±8,7	200
Сир кислий	24,1±3,6	50
Сир твердий	8,5±2,8	10
Сметана	11,9±3,2	15
Жири тваринні (вершкове масло, сало)	22,5±1,8	25
Маргарин	7,8±1,0	10
Олія	22,9±1,5	40
Яйця	17,8±2,1	15
Чай	1,12±0,11	1
Какао	0,22±0,05	3

*\*норми витрат продуктів харчування у будинках-інтернатах для престарілих та інвалідів, які затверджені Мінсоцзабезпечення України згідно з чинним порядком*

Так, дефіцит складає для вітамінів групи В 80% і більше, для аскорбінової кислоти 30-35%, для кальцію - 80%, фосфору і магнію - 50%, також є суттєвий дефіцит заліза, йоду і цинку. Забезпеченість раціонів клітковиною знаходиться на рівні 4,4 г/добу замість рекомендованих 25-40 г, прості цукри займають 18% енергетичної цінності замість рекомендованих 10%. Оцінка раціонів показує, що споживання хлібобулочних виробів перевищує норму на 35%, споживання борошна та макаронних виробів в окремих закладах у 3-4,5 разів більше середньодобових норм. Овочі та фрукти, окрім картоплі, споживаються значно нижче рекомендованих норм, споживання соків складає 30% від норми. Раціони характеризуються дуже низьким вмістом кисломолочних продуктів, споживання молочних продуктів забезпечується тільки за рахунок суцільного молока. Загальна енергоємність фактичного раціону за рахунок молочних продуктів становить 9,7%, при рекомендованій молочно-рослинній направленості дієти. Отже, раціони фактичного харчування непрацездатних громадян у державних соціальних закладах при достатньо широкому асортименті продуктів не збалансовані й не відповідають фізіологічним потребам старіючого організму, тобто потребують коригування щодо покращення харчового статусу мешканців цих соціальних закладах.

Інакше, змінюючи харчування, можливо значно змінити, порушити чи оптимізувати хід обмінних процесів, які й визначають тривалість життя людини. Невідповідність між рівнем вікових процесів метаболізму і характером харчування є одним з чинників, який погіршує стан обміну речовин і функцій організму старіючої людини.

Отже, структурні та метаболічні зміни, що виникають в організмі при старінні, вимагають особливого підходу до розробки раціонів та технологій харчових продуктів геродієтичного призначення, який заснований на наступних принципах організації харчування людей старшої вікової групи (після 60 років):

- Енергетична збалансованість харчування з фактичними енергозатратами організму. Старіння організму супроводжується зниженням можливостей травної системи, тобто важливою вимогою є помірність та обмеження харчування у кількісному відношенні.
- Профілактична спрямованість харчування по відношенню до вікових патологій, а саме: атеросклерозу, ожиріння, цукрового діабету, гіпертонічної хвороби, остеопорозу тощо.
- Відповідність хімічного складу раціону віковим змінам обміну речовин та функцій.

- Збалансованість харчових раціонів за всіма незамінними чинниками харчування, в першу чергу за мікронутрієнтами, що мають геропротекторні властивості.
- Збагачення раціонів продуктами та стравами, які нормалізують кишкову мікрофлору.
- Використання харчових продуктів та страв, що легко піддаються дії харчотравних ферментів.

Проблема раціонального харчування населення старшого віку має велике соціально-економічне значення. Асортимент продуктів здорового харчування для великої соціально-вікової групи досить обмежений, а кулінарна продукція, які сприяє профілактиці і лікуванню геріатричних хвороб, практично відсутня. Не існує системних нутрієнтних вимог до складу таких продуктів для людей, які мають вікозалежну патологію. Правильне застосування нутрієнтних складових їжі, які мають захисні (геропротекторні) властивості, допоможе усунути негативний вплив чужорідних речовин на організм людини, тому необхідно систематичне їх включення до раціону людини старшого віку. Раціони фактичного харчування непрацездатних громадян у державних соціальних закладах не збалансовані й не відповідають фізіологічним потребам старіючого організму, негайно потребують коригування.

### **2.2. Наукові основи створення кулінарної продукції геродієтичного призначення**

Нутрієнтний склад харчового раціону та метаболічний стан організму людини мають тісний зв'язок [5, 16, 90-91, 101, 117]. Будь-яке тривале порушення вищевказаного зв'язку призводить до функціональних та органічних розладів у системі травлення, кровообігу, кістковій тканині, імунній системі та ін. Раціонально побудоване харчування людей старшої вікової групи сприяє оптимізації метаболічного стану організму та підвищує рівень захисної реакції організму стосовно несприятливих чинників довкілля [5, 20-21, 118]. Особливого значення набуває чинник харчування під час розвитку вікозалежних патологій.

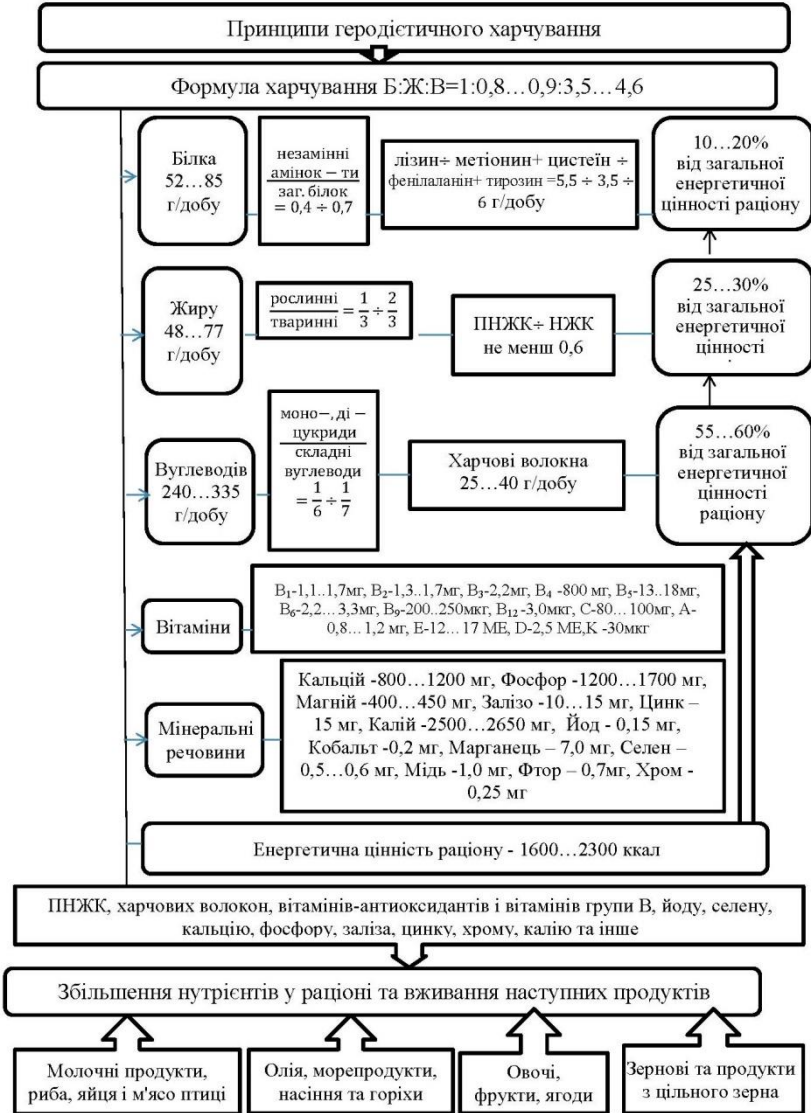
Успіхи в розвитку біохімії харчування, теорії функціональних систем та мембранного травлення дозволили Уголеву О. М. сформулювати основні постулати теорії адекватного харчування, яка лягла в основу напрямку клінічної медицини, а саме нормалізації метаболічних порушень гомеостазу, а В.В. Фролькісу обґрунтувати системні зміни у травній системі в процесі старіння [23, 103]. Негативні

наслідки фізіологічного старіння функціональних систем організму людини, в першу чергу поширюються на травну та серцево-судинну системи та становлять собою важливу геріатричну проблему. При системних проявах функціональних порушень необхідно у кожному конкретному випадку враховувати й зміни нутрієнтного статусу. Чим своєчасніше буде врахований нутрієнтний гомеостаз для вирівнювання фізіологічних потреб людини, тим більш дієвими будуть зміни у нормалізації метаболічних порушень. Так, вікові (дегенеративні) хвороби серця є у більшості наслідком саме вуглеводної дієти, з великою кількістю простих сахарів. Високий рівень холестерину в крові провокує виникнення вікового діабету та ішемічної хвороби серця, та, як їх наслідок, інфаркт. Серцева аритмія - хвороба тих, хто має дефіцит ПНЖК  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 і макромінералів Кальцію, Магнію і Калію. Варикозне розширення вен – це результат порушення синтезу колагену, дефіцит Міді і Сірки, аскорбінової кислоти і токоферолів. Отже, суто необхідний системний підхід щодо конструювання індивідуальних раціонів та проектування харчової продукції геродієтичного призначення спеціальної дії, як суттєвого доповнення комплексних заходів щодо оздоровлення людей старшої вікової групи.

За останній час накопичено великий експериментальний і клінічний матеріал геронтологів та геріатрів, який дозволяє стверджувати, що саме розбалансоване харчування за основними харчовими речовинами і енергією, дисбаланс забезпечення вітамінами, макро- і мікроелементами є причиною виникнення основних патологій у старості. У харчовому раціоні повинні бути присутні харчові інгредієнти, які б нормалізували протікання біохімічних перетворень. При одних видах патології дієтотерапія приймається як основний метод лікування, при інших – це лише фон, на якому медикаментозна терапія буде мати більший ефект. Але одне є очевидним: застосування харчових раціонів геродієтичного призначення може бути ефективним лише у випадку правильної та доцільної його організації [31, 36, 79, 112, 119-120].

Тому саме для проектування кулінарної продукції геродієтичного призначення та конструювання харчових раціонів як суттєвого доповнення комплексних заходів щодо оздоровлення людей старшого віку, нами здійснено спробу систематизувати принципи геродієтичного харчування (рис. 1.1). Вони передбачають зміну формули харчування, а саме співвідношення білка до жиру і вуглеводів змінюється відповідно як 1:0,8-0,9:3,5-4,6.

## ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ



**Рис. 2.1. Принципи геродієтичного харчування**

Складова білка у загальній енергетичній цінності раціону становить 10-20%, передбачається що незамінні амінокислоти знаходяться в раціоні у межах від 40 до 70% загальної кількості білка, а кількість лізину, метіонину з цистеїном і фенілаланіну з тирозином відповідно не менш 5,5; 3,5 і 6 г/добу. Жирова складова у загальній енергетичній цінності раціону становить 25-30%.

Рослинні жири в раціоні містяться у кількості від 1/3 до 2/3, ПНЖК у співвідношенні до НЖК становлять не менш 0,6. Вуглеводна складова нараховує 55-60% загальної енергетичної цінності раціону, при чому харчові волокна містяться у кількості 25-40 г/добу, а частка моно- і дисахаридів від кількості складних вуглеводів – не більш 1/7:1/6. Вміст вітамінів та мінералів декілька змінений порівняно з нормами для осіб середнього віку.

Енергетична цінність харчового раціону геродієтичного призначення становить 1600-2300 ккал. У раціоні необхідно збільшення ПНЖК, харчових волокон, вітамінів антиоксидантної дії та вітамінів групи В, йоду, селену, кальцію, фосфору, заліза, цинку, хрому, калію за рахунок вживання молочних продуктів, риби і морепродуктів, м'яса птиці, насіння та горіхів, фруктів, овочів, ягід та продуктів з цільного зерна.

Порушення метаболізму виявляє схожі розлади у найбільш значимих функціональних системах, відповідні порушення обміну речовин, які можливо скоригувати при визначеному моделюванні базисної дієти. Шляхом об'єднання порушень систем гомеостазу, що найчастіше зустрічаються, нами розроблено номенклатурну класифікацію переліку нутрієнтів, які забезпечують профілактичний вплив на діяльність основних функціональних систем організму, а саме профілактику діяльності мозку, покращення пам'яті та сну, нервової, імунної, опірної, ендокринної систем, органів травлення, органів кровотворення, зорового апарату та профілактику онкоутворень (рис. 2.2).

Серед завдань, що вирішуються при розробленні новітньої технології, моделювання є найпершою й основною. Саме перелік речовин, покладений нами в основу номенклатурної класифікації, враховувався при моделюванні кулінарної продукції геродієтичного призначення для забезпечення профілактичного впливу на діяльність основних функціональних систем старіючого організму (рис. 2.3).



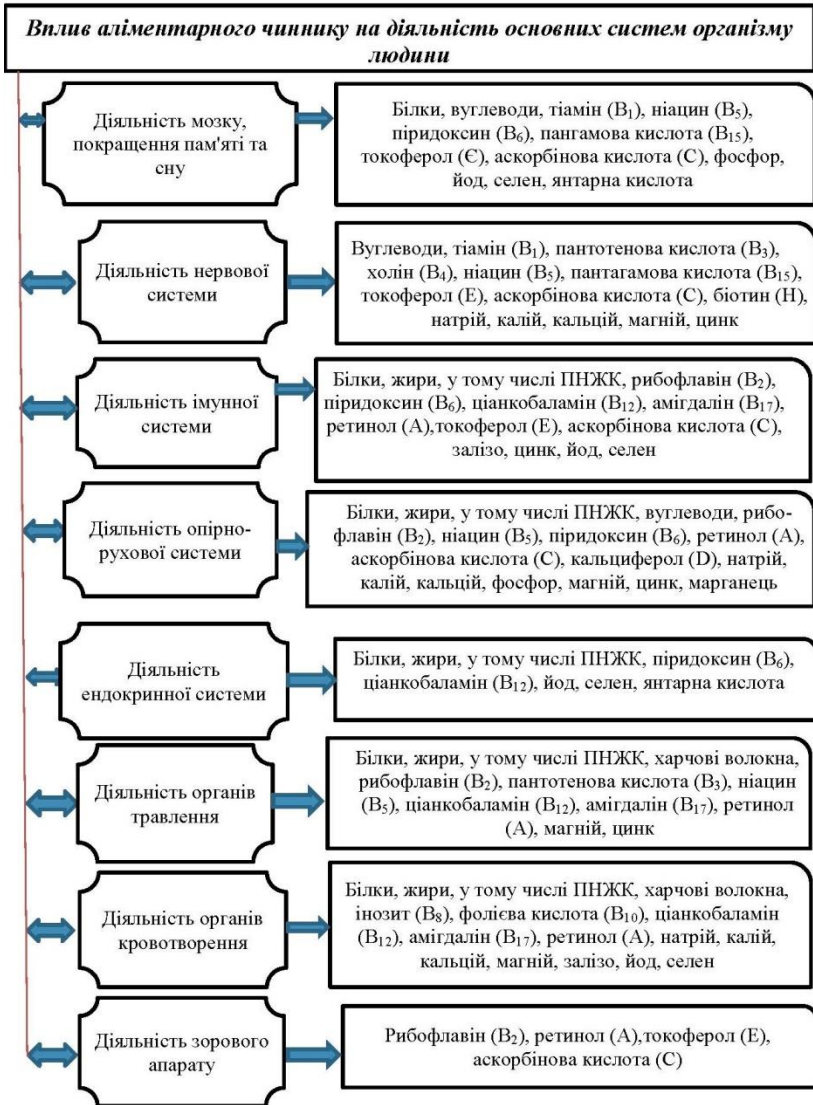


Рис. 2.2. Схема забезпечення діяльності основних систем організму людей, у т.ч. старшого віку, за рахунок аліментарного чиннику

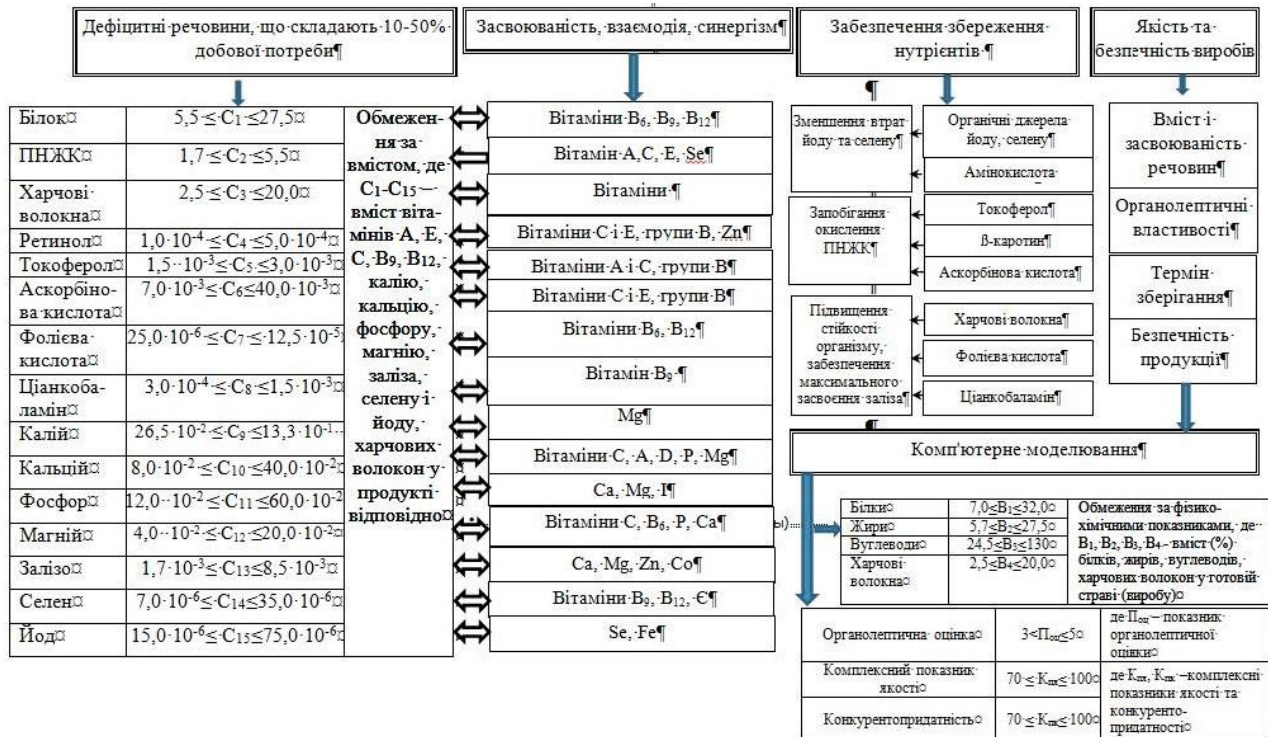


Рис. 2.3. Моделювання нутрієнтного складу кулінарної продукції геродієтичного призначення

Таблиця 2.6

## Харчова і біологічна цінність композицій дієтичних добавок

Харчова композиція*	Співвідношення компонентів у суміші	Вміст вологи, г%	Вміст загального білка, г%	Вміст незамінних амінокислот, г%	Вміст жиру, г%	Вміст ПНЖК ω-3 і ω-6, г%	Вміст вуглеводів, г%	Вміст харчового волокна, г%	Вміст вітаміну Е, мг%	Вміст каротиноїдів, мг%	Вміст селену, мкг%	Вміст йоду, мкг%
КЗП+С+ОНГ	7:3:3	5,7	10,1	4,9	27,2	11,3	57,0	53,9	34,8	51,0	39,7	44,3
КЗП+С+ОНА	7:3:2	6,2	10,9	5,3	21,3	16,2	61,6	56,1	6,4	51,0	63,4	35,3
КЗП+С+ОНВ	7:3:4	5,3	9,4	4,5	32,5	20,6	52,8	48,1	10,4	51,0	23,7	35,3
КЗП +ПЗ +ОНА	8:2:1,5	6,5	3,5	0,6	17,3	11,2	56,8	53,4	3,5	49,0	47,6	20,4
КНГ+Ц+ ОНГ	8:2:3	5,9	2,6	1,7	23,2	13,3	68,3	59,6	32,1	43,4	13,6	23,0
КНГ+Ц+ОНА	8:2:2	6,4	2,8	1,9	20,8	12,7	70,0	61,6	7,1	43,4	14,3	42,0
КНГ+Ц+ОНЛ	8:2:3	6,0	2,6	1,7	27,1	22,2	64,3	49,6	29,1	43,4	32,6	52,9
КНГ+Ц+ПЗ+ОВК	8:2,5:1:3	6,1	3,7	2,1	24,3	15,7	65,9	58,4	30,6	54,3	7,1	22,1
ЗПЗ+С+ОНГ	8:2:3	9,3	30,8	17,6	25,1	13,4	34,8	26,9	32,1	26,2	9,2	9,8
ЗПЗ+ПЗ+ОПШ	8:2:2	10,1	28,9	16,5	18,4	8,7	42,6	28,7	25,6	40,7	13,5	16,9
ЗПЗ+Ц+ПЗ+ОНГ	8:2:1:3	9,5	25,0	14,3	22,8	9,5	42,7	27,7	30,7	64,0	14,4	18,0
ШНГ+Ц+ПЗ+ОНГ	8:2,5:1:4	6,2	19,7	7,9	33,2	17,6	40,9	27,2	36,6	50,8	37,0	29,0
ШНГ+Ц+ПЗ+ОНА	8:2:1:2	7,1	23,2	9,3	24,3	15,5	45,4	31,2	4,2	52,2	40,6	19,3
ШНГ+З+ОНВ	9:1:4	6,0	22,9	9,1	37,8	26,9	33,3	27,6	7,2	17,5	31,7	10,2

\*КЗП- клітковина зародків тшениці; КНГ- клітковина насіння гарбуза; ЗПЗ – зародки тшениці знежирені; ШНГ- шрот насіння гарбуза; ОНА- олія насіння амаранту; ОПШ- олія плодів шипшини; ОНГ – олія насіння гарбуза; ОНЛ- олія льняна, ОНВ – олія насіння вівса; С - спіруліна; ПЗ - лектин-зостерин; З- зостера; Ц- цистозира.

Повноцінні білки сприяють зміцненню імунітету, утворенню гормонів та ферментів, активізують процеси кровотворення, колаген – регулює побудову та регенерацію кісткової та хрящової тканин, ПНЖК – активізують захисні функції клітинних структур та мембран, антиканцерогенні та антиоксидантні функції, харчові волокна – сприяють активізації кишкових та імунних процесів, вітаміни А, Е, С, Кальцій, Фосфор – сприяють профілактиці остеопорозу, нормалізують обмін кальцію та фосфору, активізують антиоксидантні властивості; вітаміни групи В – нормалізують роботу шлунково-кишкового тракту та печінки, регулюють вуглеводний та жировий обмін, підтримують стійкість нервової системи, знімаючи збудливість, слабкість та депресію. Калій, Магній, Ферум – сприяють процесу кровотворення, нормалізують функціонування нервової тканини та активізують протисклеротичні функції; наявність йоду та селену нормалізує функції щитовидної залози, сприяє зміцненню імунітету. Тобто, усі змодельовані харчові композиції повинні забезпечувати від десяти відсотків до половини добової потреби у харчовому волокні, поліненасичених жирних кислотах, макро- та мікроелементах і вітамінах групи В й антиоксидантній дії, наявність яких у раціоні сприяє нормалізації основних систем функціонування організму, а саме травної, кровотворної, імунної та ендокринної систем. При створенні моделей кулінарної продукції геродієтичного призначення керувалися фізіологічними добовими потребами людини старшого віку у вітамінах (ретинол, токоферол, піридоксин, цианкобаламін, аскорбінова та фолієва кислоти), мінеральних речовинах (Кальцій, Фосфор, Магній, Ферум, Селен, Йод) та харчових волокнах. Як звісно, фізіологічна добова потреба людей старшого віку відповідно до вимог FAO /ВОЗ та на Україні різниться, й у наступних макро- та мікроелементах відповідно складає: залізо – 0,55...0,6 мг/кг і 15...17 мг; йоді – 0,11 і 0,15 мг, у селені – 26...34 і 50..70 мкг. Фізіологічна добова потреба відповідно вимог FAO /ВОЗ та на Україні у наступних вітамінах у людей старшого віку становить: ретинол – 500..600 і 1000 мкг, токоферол – 12 і 15 мг, піридоксин – 1,3 і 1,8...2,0 мг, цианкобаламін – 230...250 і 300 мкг, аскорбінова кислота – 45 і 70...80 мг та фолієва кислота – 400 і 200 мг.

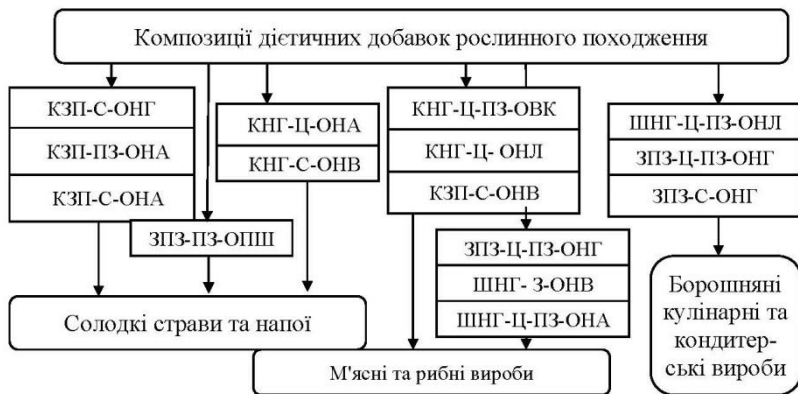
На підставі проведених аналітичних досліджень геронтологів та геріатрів [10, 30, 36, 121-124] дійшли висновку щодо позитивного ефекту використання природних геропротекторів, а саме дієтичних добавок рослинного походження з вітчизняної сировини. Саме у старшому віці геронтологи рекомендують використовувати продукцію з сировини, яка зростає у ареалі проживання людини. Однієї дієтичної добавки, яка б повністю задовольняла фізіологічну добову потребу

людей старшого віку на 10..50% у вищенаведених речовинах не знайдено, однак змодельовані композиції зі шроту (чи клітковини), водоростевих порошків та дієтичних олій містять наведений перелік речовин. З метою проектування композицій кулінарної продукції геродієтичного призначення розраховані та подані в табл. 6 показники харчової і біологічної цінності композицій дієтичних добавок, а саме вміст загального білка і незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот, харчового волокна, вітаміну Е (токоферолів), провітаміну А (каротиноїдів), селену і йоду. Дані розрахунків показують, що у композиціях дієтичних добавок вміст компонентів, які є природними геропротекторами і визначають харчову і біологічну цінність та функціональність харчового продукту (забезпечують добову потребу людини старшого віку у межах від 10% до 50%), є наступним: харчові волокна містяться від 26,9 до 61,6 г% (використання 4,1...9,3 г шроту чи клітковини в композиції дієтичних добавок у харчовій продукції забезпечує визначені межі добової потреби); поліненасичені жирні кислоти  $\omega$ -3 і  $\omega$ -6 у різних композиціях дієтичних добавок – від 8,7 до 26,9 г% (тобто визначені межі добової потреби забезпечує використання 0,9...4,6 г дієтичних олій у харчовій продукції); каротиноїди (ретиноловий еквівалент) у композиціях дієтичних добавок – від 17,5 до 64,0 мг% (1,4...2,0 г обраної композиції дієтичних добавок у харчовій продукції забезпечує визначені межі добової потреби); токофероли (вітамін Е) – від 3,5 до 36,6 мг% (3,3...20,5 г обраної композиції дієтичних добавок у кулінарній продукції геродієтичного призначення забезпечує визначені межі добової потреби); селен у різних композиціях дієтичних добавок – від 7,1 до 63,4 мкг% (7,9 г і більше композиції дієтичних добавок у кулінарній продукції забезпечує визначені межі добової потреби); йод у різних композиціях дієтичних добавок – від 9,8 до 52,9 мкг% (28,4 г і більше обраної композиції дієтичних добавок у кулінарній продукції забезпечує визначені межі добової потреби). Таким чином, споживання запропонованих композицій дієтичних добавок рослинного походження у межах 1,4...28,6 г і більше в складі кулінарної продукції геродієтичного призначення, що моделюється, гарантує забезпечення добової потреби у особливо дефіцитних мікронутрієнтах для людей старше 60 років [32, 35, 18].

Представлені розрахунки підтверджують, що при моделюванні кулінарної продукції геродієтичного призначення для збагачення харчової композиції рослинним білком, харчовими волокнами і токоферолом доцільно обрати композиції дієтичних добавок з зародками пшениці знежиреними зі спіруліною і олією насіння гарбуза чи пектин-

зостерином з олією плодів шипшини чи цистозірою з пектин-зостерином і олією насіння гарбуза; у разі необхідності суттєвого збагачення харчовим волокном, каротиноїдами, йодом та селеном краще обрати композиції дієтичних добавок з клітковиною зародків пшениці чи клітковиною насіння гарбуза в композиції зі спіруліною і олією насіння гарбуза чи олією насіння амаранту, а також з пектин-зостерином і олією насіння амаранту, чи цистозірою з олією насіння гарбуза або олією насіння амаранту, або олією насіння льону. При необхідності збагачення харчової продукції рослинним жиром, харчовими волокнами і токоферолом краще обрати композиції дієтичних добавок зі шротом насіння гарбуза в композиції із цистозірою з пектин-зостерином і олією насіння гарбуза або олією насіння амаранту чи зостерою з олією насіння вівса.

Оскільки розрахунки хімічного складу композицій дієтичних добавок рослинного походження доводять необхідність використання цих композицій у кулінарній продукції геродієтичного призначення, доцільно спрогнозувати їх вплив під час формування структури та якості кулінарної продукції, реалізуючи цей прогноз через інноваційний задум (рис. 2.4).



**Рис. 2.4.** Інноваційний задум використання дієтичних добавок рослинного походження у кулінарній продукції геродієтичного призначення: КЗП- клітковина зародків пшениці; КНГ- клітковина насіння гарбуза; ЗПЗ – зародки пшениці знежирені; ШНГ- шрот насіння гарбуза; ОНА- олія насіння амаранту; ОПШ - олія плодів шипшини; ОНГ – олія насіння гарбуза; ОНЛ - олія льняна, ОНВ – олія насіння вівса; С - спіруліна; ПЗ - пектин-зостерин; З- зостера; Ц- цистозира

Для розроблення технологій кулінарної продукції геродієтичного призначення з використанням дієтичних добавок рослинного походження доцільно дослідити як змінюється молекулярна рухливість у продукті та як вона залежить від співвідношення компонентів у зв'язку з їхньою різною хімічною природою та від умов гідратації.

Враховуючи, що зв'язана волога у продукті має малу рухливість, а вільна - велику, дослідження релаксаційних процесів та молекулярної рухливості в спроектованих композиціях дієтичних добавок «шрот або клітковина - порошки водоростей» проводили шляхом вимірювання амплітуди спінової луни залежно від  $\tau$  і часу спінової релаксації  $T_2$ , що дозволяє визначити найкраще співвідношення між компонентами композиції. У табл. 2.7 наведені дані дослідження часу спін-спінової релаксації  $T_2$  для композицій «шрот або клітковина насіння гарбуза з пектин-зостерином», які доводять, що молекулярна рухливість суттєво залежить як від умов гідратації, так й від частки компонентів у зв'язку з їхньою різною хімічною природою. За даними вимірювання часу спін-спінової релаксації зроблені висновки щодо ступеня зв'язаності вологи у змодельованих композиціях дієтичних добавок.

Грунтуючись на отриманих даних (табл. 8), обрано раціональне співвідношення дієтичних добавок для кожної композиції дієтичних добавок, які мають найменшу молекулярну рухливість за умовами гідратації 1:(10-15): шрот насіння гарбуза з пектин-зостерином при співвідношенні компонентів 8:2; шрот насіння гарбуза із зостерою – 9:1; клітковина насіння гарбуза зі спіруліною – 7:3; клітковина насіння гарбуза з цистозирою – 8:2; зародки пшениці з пектин-зостерином – 8:2; клітковина зародків пшениці з пектин-зостерином – 8:2; кліткови-на зародків пшениці зі спіруліною – 7:3.

Суттєва різниця даних по молекулярній рухливості у композиціях шроту або клітковини гарбуза з пектином-зостерином, зостерою, спіруліною та цистозирою, а також зародків пшениці чи клітковини зародків пшениці з пектином-зостерином або спіруліною пояснюється різницею у формах зв'язку вологи між складовими речовинами у даних композиціях дієтичних добавок. Отриманні дані доказують, що міцніше зв'язана волога у тих композиціях, які містять спіруліну. Це пояснюється вмістом в біомасі спіруліни більшості повноцінних білків (45-70%) порівняно з вуглеводами (10-14%). Загально відомо, що ступінь зв'язаності вологи із білком є більшою, ніж з вуглеводними сполуками за рахунок вмісту гідрофільних груп  $-NH_2$ . Целюлоза та геміцелюлоза мають лінійну структуру й білки спіруліни, набрякаючи, загортаються навколо неї та утворюють стійкі гліуко-протеїновий і

ліпо-протеїновий комплекси (рис. 2.5, а). Карбонові групи водоростевого пектину (переважно альгінова кислота) більш реакційно здатні, ніж спиртові групи целюлоз та геміцелюлоз (рис. 2.5, б), тому композиції дієтичних добавок здатні при гідратації утворювати більш стійкі структури.

Таблиця 2.7

**Час спін-спінової релаксації T<sub>2</sub> для композицій дієтичних добавок**

Вид композиції	Гідромодуль	Співвідношення компонентів у харчовій системі	Показник спін-спінової релаксації (T <sub>2</sub> )
1	2	3	4
Шрот насіння гарбуза з пектин-зостерином	1:5	1:0	0,047
		9:1	0,062
		8:2	0,059
		7:3	0,072
Шрот насіння гарбуза з пектин-зостерином	1:10	1:0	0,056
		9:1	0,076
		8:2	0,054
		7:3	0,071
Шрот насіння гарбуза з пектин-зостерином	1:15	1:0	0,067
		9:1	0,740
		8:2	0,737
		7:3	0,075
Клітковина насіння гарбуза з пектин-зостерином	1:5	1:0	0,045
		9:1	0,060
		8:2	0,056
		7:3	0,067
Клітковина насіння гарбуза з пектин-зостерином	1:10	1:0	0,053
		9:1	0,072
		8:2	0,050
		7:3	0,066
Клітковина насіння гарбуза з пектин-зостерином	1:15	1:0	0,062
		9:1	0,071
		8:2	0,070
		7:3	0,074



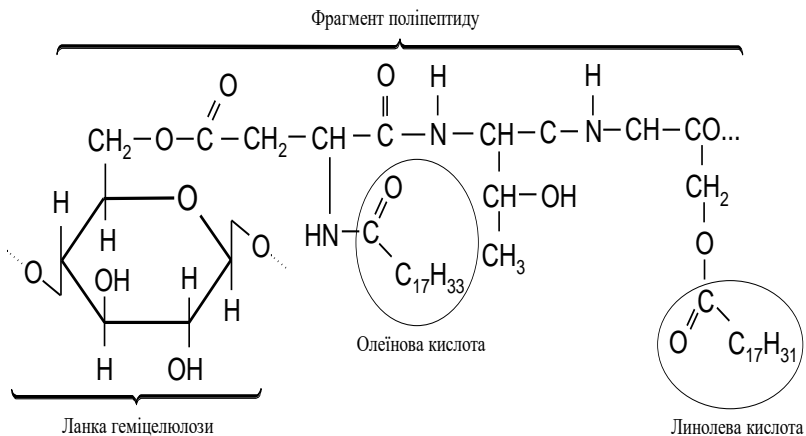
Таблиця 2.8

**Час спін-спінової релаксації  $T_2$  для композицій дієтичних добавок, які мають найменшу молекулярну рухливість**

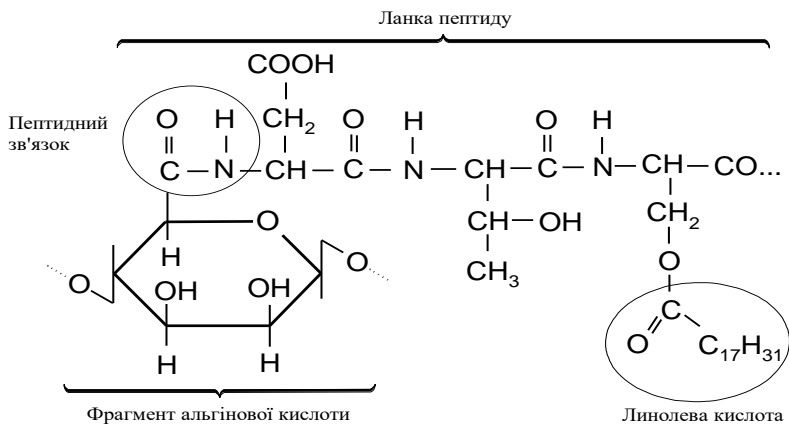
Вид композиції	Умови гідратації	Частки компонентів у харчовій системі	Час спін-спінової релаксації $T_2$
1	2	3	4
Шрот насіння гарбуза з пектин-зостерином	1:10	8:2	0,054
Шрот насіння гарбуза із зостерою	1:10	9:1	0,056
Клітковина насіння гарбуза зі спіруліною	1:15	7:3	0,047
Клітковина насіння гарбуза з цистозирою	1:15	8:2	0,045
Зародки пшениці з пектин-зостерином	1:10	8:2	0,062
Клітковина зародків пшениці з пектин-зостерином	1:15	8:2	0,66
Клітковина зародків пшениці зі спіруліною	1:15	7:3	0,053

Динаміка водопоглинальної здатності композицій дієтичних добавок рослинного походження (шрот чи клітковина, порошки водоростей) досліджувалася для композицій, що мають найменшу молекулярну рухливість, залежно від періоду гідратації (рис. 2.6 – 2.8).

Метод визначення водопоглинальної здатності (модифікований автором) [125] дозволяє не тільки визначити параметри процесу водопоглинання (час та кількість зв'язаної води), але й демонструє ступінь зв'язку води набрякання. Наявність спіруліни суттєво впливає на інтенсивність гідратації та вологозв'язувальну властивість. Так вага композиції «клітковина зародків пшениці – спіруліна» максимально збільшується в 5,5 рази за 30х60 с, тоді як композиція «клітковина зародків пшениці – пектин-зостерин» збільшує свій обсяг у 5,0 разів за 45х60 с.



а)



б)

Рис. 2.5. Фрагменти утворення глюко-протеїнового і ліпо-протеїнового комплексів:

а – утворення складно ефірних та пептидних зв'язків;  
 б – приєднання альгінової кислоти до ліпо-пептиду.

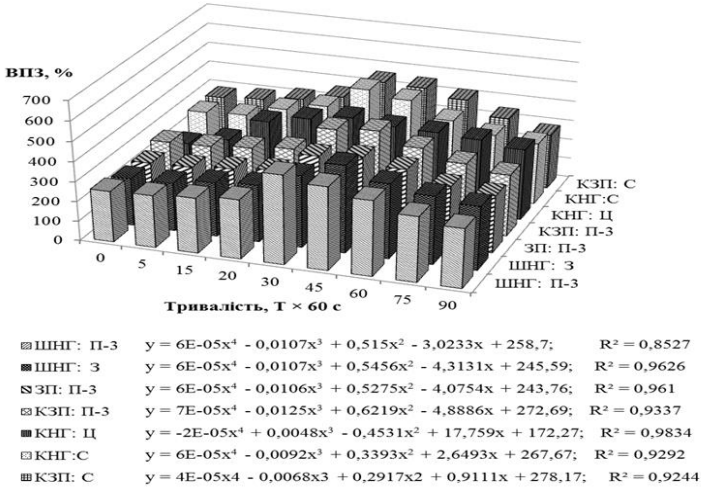


Рис. 2.6. Водопоглинальна здатність композицій дієтичних добавок від часу при гідромодулі 1:5

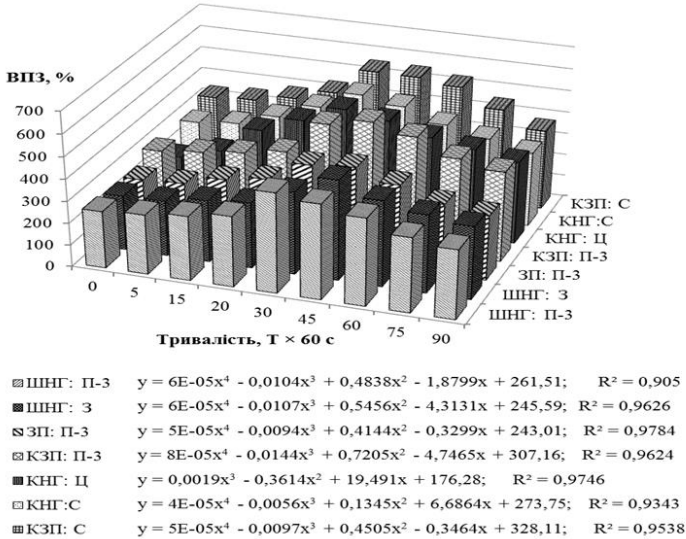
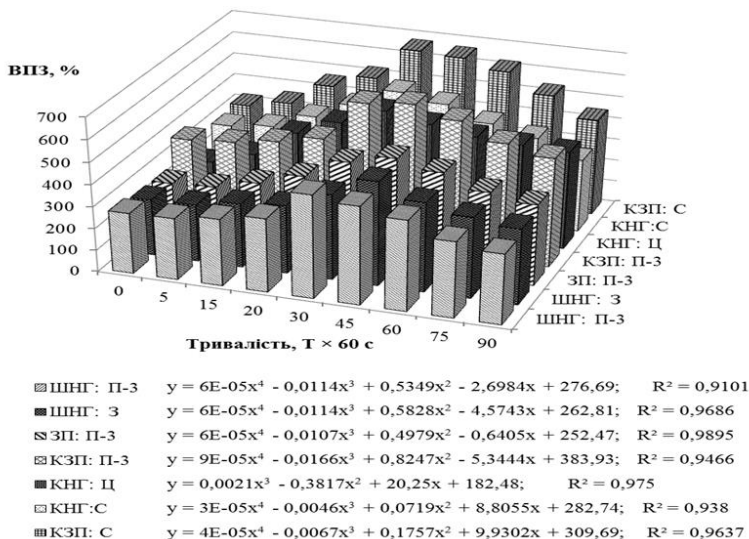


Рис. 2.7. Водопоглинальна здатність композицій дієтичних добавок залежно від часу при гідромодулі 1:10



**Рис. 2.8.** Водопоглинальна здатність композицій дієтичних добавок залежно від часу при гідромодулі 1:15:

**КЗП** - клітковина зародків пшениці; **КНГ** - клітковина насіння гарбуза; **ЗПЗ** - зародки пшениці знежирені; **ШНГ** - шрот насіння гарбуза; **С** - спіруліна; **ПЗ** - пектин-зостерин; **З** - зостера; **Ц** - цистозира.

Набрякання композицій, що містять пектин-зостерин відбувається інтенсивніше (30х60 с) в композиціях зі шротом насіння гарбуза, вага яких максимально збільшується в 4,7 рази, тоді як у гідратованих композиціях з зародками пшениці знежиреними та клітковиною зародків пшениці маса максимально збільшується в 5,0 і 6,7 рази відповідно та досягає максимуму за 45х60 с. Збільшення періоду досягнення максимуму водопоглинання може бути пояснено хімічним складом дієтичних добавок, а саме більшим вмістом харчового волокна (66% проти 30%) та меншою кількістю білка (50% проти 39%) у зародках пшениці порівняно з насінням гарбуза.

Полісахариди, як звісно, можуть сорбувати до дев'яти обсягів власної молекулярної ваги, білки - чотири обсяги, таким чином гідратаційний процес потребує подовження часу. Відповідно до даних досліджень, найбільша водопоглинальна здатність спостерігається для композицій дієтичних добавок, що містять клітковину зародків пшениці зі спіруліною у співвідношенні 7:3, а найменша для шроту насіння гарбуза з зостерою у співвідношенні 9:1. Досліджені об'єкти мож-

ливо вишикувати у наступну ланку з максимальної до мінімальної водопоглинальної здатності: клітковина зародків пшениці: спіруліна (7:3) → клітковина насіння гарбуза: спіруліна (7:3) → клітковина насіння гарбуза: цистозира (8:2) → клітковина зародків пшениці: пектин-зостерин (8:2) → зародки пшениці: пектин-зостерин (8:2) → шрот насіння гарбуза: пектин-зостерин (8:2) → шрот насіння гарбуза: зостера (9:1). На основі отриманих даних про гідратаційні властивості композицій дієтичних добавок рослинного походження розроблено схему технологічного процесу отримання напівфабрикату «Дієтичні добавки гідратовані» (рис. 2.9 а, б, в, г, д, е).

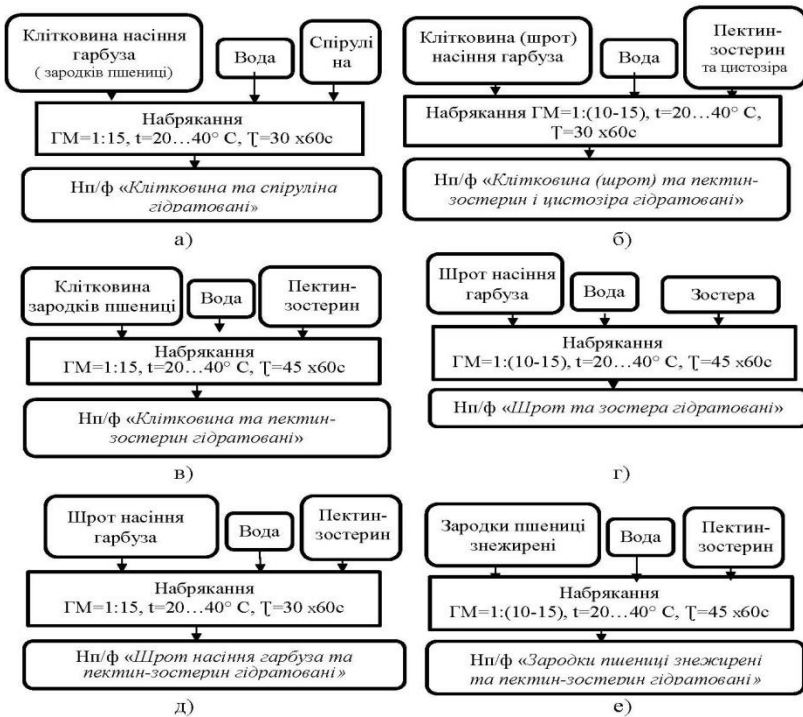
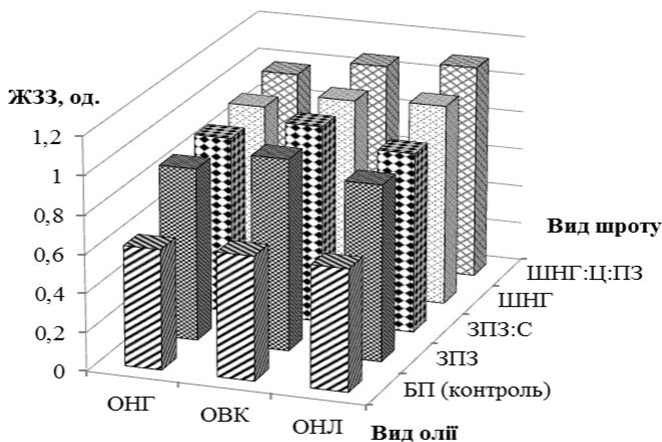


Рис. 2.9. Технологічна схема отримання напівфабрикату підготовленого до виробництва «Дієтичні добавки гідратовані»: а) клітковина насіння гарбуза (зародків пшениці) зі спіруліною; б) клітковина (шрот) насіння гарбуза з пектином – зостерином і цистозирою; в) клітковина зародків пшениці з пектином-зостерином; г) шрот насіння гарбуза з зостерою; д) шрот насіння гарбуза з пектином-зостерином; е) зародки пшениці з пектином-зостерином.

Жирозв'язувальну здатність композицій дієтичних добавок (рис. 2.10) визначали в композиціях шротів (насіння гарбуза та зародків пшениці) із водоростевими порошками (спіруліна, цистозіра та пектин-зостерин) при додаванні дієтичних олій, а саме олії насіння гарбуза (ОНГ), олії виноградних кісточок (ОВК) та олії насіння льону (ОНЛ). Встановлено, що жирозв'язувальна здатність композицій дієтичних добавок висока порівняно з пшеничним борошном (БП) – БП:ОНГ = 0,62; БП:ОВК = 0,64 і БП:ОНЛ = 0,63, а саме: зародки пшениці знежирені – ЗПЗ:ОНГ = 0,89; ЗПЗ:ОВК = 0,99 і ЗПЗ:ОНЛ = 0,92; шрот насіння гарбуза – ШНГ:ОНГ = 0,94; ШНГ:ОВК = 1,02 і ШНГ:ОНЛ = 1,04; зародки пшениці знежирені в композиції зі спіруліною – ЗПЗ:С:ОНГ = 0,91; ЗПЗ:С:ОВК = 1,02 і ЗПЗ:С:ОНЛ = 0,93; шрот насіння гарбуза в композиції із цистозирою і пектин-зостерином – ШНГ:Ц:ПЗ:ОНГ = 0,98; ШНГ:Ц:ПЗ:ОВК = 1,07 і ШНГ:Ц:ПЗ:ОНЛ = 1,11. Таким чином, композиції шроту з водоростевими добавками мають кращу жирозв'язувальну здатність, ніж шроту окремо.



■ БП (контроль)	$y = -0,015x^2 + 0,065x + 0,57;$	$R^2 = 1$
■ ЗПЗ	$y = -0,09x^2 + 0,37x + 0,61;$	$R^2 = 1$
■ ЗПЗ:С	$y = -0,1x^2 + 0,41x + 0,6;$	$R^2 = 1$
■ ШНГ	$y = -0,03x^2 + 0,17x + 0,8;$	$R^2 = 1$
■ ШНГ:Ц:ПЗ	$y = -0,025x^2 + 0,165x + 0,84;$	$R^2 = 1$

Рис. 2.10. Жирозв'язувальна здатність дієтичних добавок рослинного походження

Це може бути пояснено збільшенням у композиції пектинових речовин, які мають більш значну властивість поглинати жир, ніж целюлоза та геміцелюлоза. Висока жирозв'язувальна здатність дієтичних добавок є передумовою кращого зв'язування жиру під час формування структури м'ясної, рибної і борошняної продукції

### 2.3. Дослідження харчових раціонів у спеціалізованих геріатричних закладах України

Оцінка харчового раціону спеціалізованого геріатричного закладу КУ «Богодухівський геронтологічний пансіонат» та Територіального центру соціального обслуговування Ульяновського району Кіровоградської області проводилася відповідно до норм геродієтики. Аналізували набір продуктів у харчових раціонах за тижневий період у лютому, квітні, липні та жовтні 2013 року. Дані досліджень зведено у табл. 2.9. Фактично зовсім не споживаються у спеціалізованих геріатричних закладах такі групи продуктів як хліб житній, соки, кисломолочні продукти (сир кислий і сметана), хоча ці продукти несуть більшість біологічно активних нутрієнтів та є джерелами фізіологічно-функціональних речовин (повноцінні білки, харчові волокна, вітаміни і мінеральні речовини). Суттєва різниця між фактичним споживанням та рекомендованими нормами спостерігається при вживанні хліба пшеничного (у 3,33 разів більше), чаю (у 29 разів більше) та какао (у 15 разів менше). Фрукти, ягоди та баштанні також споживаються в 3,1 рази менше рекомендованої кількості.

Значно збільшено споживання сиру твердого – на 70%, однак, це не компенсує повну відсутність у раціоні сиру кислого та сметани і значно зменшеної кількості молока (-77,20%) і кисломолочних продуктів (-80,25%). Кількість споживання крупів та бобових перевищує рекомендовану на 18,4%, борошна пшеничного споживається на 20,65% більше, а макаронних виробів на 40% менше. Раціони містять цукор менше рекомендованої норми, однак разом із цукровмісними продуктами споживання даної групи продуктів перевищено на 10%. Норми споживання картоплі перевищені (+4,85%), а споживання інших овочів занижено на 38,0% від рекомендованого.

Таблиця 2.9

Узагальнений набір продуктів та їх рекомендована кількість у харчових раціонах спеціалізованих геріатричних закладів, що досліджувалися

Продукти	Фактичний вміст у харчових раціонах (дослід), г	Рекомендована кількість*, г
Хліб житній	0	150
Хліб пшеничний	500,0±0,1	150
Борошно пшеничне	24,13±12,0	20
Макаронні вироби	12,1±1,9	20
Крупи, бобові	53,3±42,7	45
Цукор	47,0±5,0	60
Цукровмісні продукти	19,0±6,0	-
Картопля	419,4±58,0	400
Інші овочі разом, у т. ч.	403,5±66,7	650
Буряк	41,0±19,0	120
Морква	46,8±26,8	90
Капуста	105,3±66,7	240
Цибуля	62,4±7,4	60
Інші овочі	148,7±53,9	140
Фрукти, ягоди, баштанні	87,5±32,5	270
Соки	0	150
Сухофрукти	16,0±4,0	30
М'ясо, м'ясопродукти	88,9±21,1	120
Риба, рибопродукти	88,5±57,1	100
Молоко	57,0±37,0	250
Кисломолочні продукти	39,5±3,5	200
Сир кисломолочний	0	50
Сир твердий	17,4±8,2	10
Сметана	0	15
Жири тваринні	20,0	25
Маргарин	7,8±1,7	10
Олія	26,0±10,0	40
Яйця	16,0±8,0	15
Чай	28,9±1,1	1
Какао	0,2±0,05	3

\*норми витрат продуктів харчування у будинках-інтернатах для престарілих та івалідів (тепер спеціалізовані геріатричні заклади), які затверджені Мінсоцзабезпечення України від 19.01.89 р.



Значний недолік у раціоні мають саме такі овочі: буряк – споживається менш ніж на 65,8% від рекомендованої норми, морква – на 48,0% менше норми, капуста – на 56,1% менше норми. Все це не може бути компенсовано незначним перевищенням по споживанню цибулі (+4,0%) та інших овочів (+6,2%). Відсутність свіжих овочів та фруктів не компенсується сухофруктами, їх у раціонах на 46,7% менше норми. М'ясо і м'ясопродукти вживаються фактично на чверть менше норми (-25,9%), а риба і рибопродукти на 11,5% менше норми. Порівнюючи набори продуктів харчування довгожителів України [4] і мешканців спеціалізованих геріатричних закладів (табл. 2.10), необхідно відмітити, що практично за всіма позиціями споживання означених груп продуктів у харчовому раціоні закладу менше норми споживання та знаходиться у межах 25,3...88,5% від рекомендованої норми й тільки за чотирима позиціями, а саме зернобобові, хлібобулочні вироби, яйця та овочі, спостерігається перевищення у споживанні відповідно норми. Воно становить відповідно – 18,4%; 66,0%; 6,7% і 26,6%.

Якщо врахувати, що харчування довгожителів України характеризується молочно-рослинною орієнтацією й саме воно забезпечує низький рівень ризику розвитку вікозалежної патології, то можливо зробити висновок, що обмежене за калорійністю харчування (на 40-50%) і повноцінне за біологічно активними речовинами та речовинами геропротекторної дії може забезпечити подовження життя та затримати розвиток вікозалежної патології.

Організація харчування людей старших вікових груп в організованих колективах, а саме будинках-інтернатах, геріатричних пансіонатах, профілакторіях для престарілих, відповідно даних досліджень учених Інституту геронтології АМН України та нашим дослідженням харчового раціону їдалень спеціалізованих геронтологічних закладів не відповідає рекомендованому набору. Особи, відповідальні за організацію такого харчування користуються застарілими нормами (Наказ Міністерства охорони здоров'я СРСР №369 від 14.06.1989р.), якими затверджено середньодобовий набір продуктів для хворих, що знаходяться в лікувально-профілактичних закладах (загальні відділення лікарень, онкологічні відділення та лікарні, нефрологічні, гастроентерологічні, ендокринологічні та гематологічні відділення), однак фактично дієтотерапія у вищеперахованих закладах проводиться в межах асигнувань на харчування в даному закладі.

Таблиця 2.10

**Порівняння середньодобового набору продуктів харчування довгожителів України і мешканців геріатричних закладів**

Продукти	Фактична кількість у раціонах, г		% відповідно до рекомендованої норми	
	для довгожителів України	мешканців геронтологічного пансіонату (дослід)	для довгожителів України	для мешканців геронтологічного пансіонату (дослід)
Зернобобові	110,9±11,0	53,3±42,7	246,7±27,5	118,4±9,48
Хлібобулочні вироби	166,0±13,4	500,0±0,1	55,3±5,95	166,0±0,7
Цукор	30,6±3,0	47±5,0	51,0±5,0	78,3±0,6
Молоко та кисломолочні продукти	305,7±31,4	113,9±37,0	67,9±10,5	25,3±0,7
Жири тваринні	20,5±2,0	20,0	82,0±13,35	80,0±0,33
Жири рослинні	16,8±1,5	26,0±10,0	42,0±7,5	65,0±5,0
М'ясо та м'ясопродукти	32,6±8,8	88,9±21,1	27,17±7,33	74,1±17,58
Риба та рибопродукти	19,7±7,0	88,5±57,1	19,7±7,0	88,5±57,1
Яйця	12,9±4,2	16,0±8,0	86,1±28,0	106,7±53,3
Овочі, у т.ч. картопля	286,5±24,3 148,0±16,0	822,9±66,7 419,4±58,0	44,1±3,7 37,0±4,0	126,6±10,26 104,85±14,5
Фрукти	45,0±7,6	87,5±32,5	16,67±2,8	32,4±12,04

Енергетична цінність дослідженого двотижневого раціону коливається в межах 3069,3...3529,9 ккал/добу, середня енергетична цінність дослідженого харчового раціону становить 3290 ккал, що перевищує для чоловіків вимоги: ФАО/ВООЗ у 1,5..1,7 рази та науковців України - у 1,5...2,2 рази; суттєво перевищує вимоги для жінок: ФАО/ВООЗ - у 1,8...2,1 раз та науковців України - у 2,4...2,7 разів. Межа енергетичної цінності раціону за рекомендаціями ФАО/ВООЗ становить: для чоловіків - 2050 ккал/добу та для жінок - 1700 ккал/добу. За рекомендаціями фахівців Інститутів геронтології АМН України, Інституту гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва та

Інституту екогієни і токсикології ім. Л.І. Медведя [2] енергетична цінність харчового раціону відповідно для віку 60-74 років і 75 років і старше повинна становити: для чоловіків 2000 ккал/добу і 1800 ккал/добу, для жінок - 1800 ккал/добу і 1600 ккал/добу.

Узагальнені данні нутрієнтного складу харчового раціону мешканців КУ «Богодухівський геронтологічний пансіонат», приведені у табл. А.1- А.2 (Додаток А), свідчать, що при складанні раціонів практично не враховуються співвідношення основних нутрієнтів, а саме тільки у 6 (1:0,8:3,2) та 13 день (1:0,9:4,2) формула раціону співпадала із рекомендованою, тоді як у інші 12 днів вона коливалася у межах 1:(0,95-1,2):(3,3-5,2), тобто коливання нутрієнтів порівняно з нормами геродієтики становили до 50%. Таким чином, висновок щодо дослідженого харчового раціону дозволяє стверджувати, що харчування мешканців геронтологічних закладів України потребує суттєвих змін як у наборі продуктів, так й корегування принципів складання щоденного меню, а саме розроблення моделі розподілу енергетичної цінності між групами харчової продукції в добовому раціоні геродієтичного призначення із врахуванням формування загальної формули харчового раціону.

### Список використаних джерел

1. Цимбаліста Н. В. Гігієнічна оцінка рівнів споживання основних груп харчових продуктів населенням України // Проблеми харчування. — 2008. — №1-2. — С.45-48.
2. Швець О. В. Питание людей пожилого возраста с точки зрения доказательной медицины / О. В. Швець, В. В. Сластин, А. А. Мартыничук // Проблемы старения и долголетия, 2011. —Т.20, №2. — С.117-127.
3. Bellisle F. A. *Functional Food Science in Europe* // F. A. Bellisle, A. T. Diplock, G. Hornstra / Br. J. Nutr. — 1998. — 80, №1. — P.1-76.
4. *Gerontology: perspectives and issues* / Janet M. Wilmoth, Kennet F. Ferraro, editors. — NY: Springer Publishing Company, LLC, 2013. — 350p.
5. Morley John E., Thomas David R. *Geriatric Nutrition* / Morley John E., Thomas David R. — NY: CRC Press, 2007. — 590p.
6. *Population aging, human capital accumulation, and productivity growth* / Eds: A. Prskawetz, D. Bloom, W. Lutz. — New York : Population council, 2008. — 326p.
7. Чеботарев Д. Ф. Слово о старости. — М.: Знание, 1992. — 64 с.
8. Возіанов О. Ф. Харчування та здоров'я населення України (концептуальні основи раціонального харчування) // Журн. Академії медичних наук України. — 2002. — Т. 8, №4. — С. 647-657.

9. Жакова К. И. Продукты питания для пожилого возраста / К. И. Жакова, Е. С. Колядич // Пищевая промышленность : наука и технологии, 2011. — №2(12). — С.15-19.
10. Желнова Т. И. и др. Питание и кишечный биоценоз у пожилых / Т. И. Желнова, П. И. Романчук, Н. С. Язенок // Материалы тезисов докладов Международного семинара по проблемам пожилых. — Самара, 1996. — С.111-113.
11. Самсонов М.А. Питание людей пожилого возраста / М. А. Самсонов, В. А. Мецеракова. — М : Медицина, 1979. — 80 с.
12. Юдина С. Б. Технология геродиетического питания / С. Б. Юдина. — М. : ДеЛти принт, 2009. — 228 с.
13. Смоляр В. І. Стан фактичного харчування населення незалежної України // Проблеми харчування, 2012. — №1-2(34-35). — С.5-9.
14. Смоляр В. І. Формула раціонального харчування // Проблеми харчування, 2013. — №1. — С.5-9.
15. Miller R. A. The biology of aging and longevity. In Principles of Geriatric Medicine and Gerontology / R. A. Miller, W. R. Hazzard, J. P. Blass, W. H. Ettinger, J. V. Halter and J. G. Ouslander. — Eds. New York : McGraw-Hill, 1998. — P. 3-19.
16. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a Joint WHO / FAO Expert Consultation / [електр. ресурс] ([http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO\\_TRS\\_916.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_916.pdf)).
17. Конишев В. А. Питание и регулирующие системы организма / В. А. Конишев. — М. : Медицина, 1985. — 224с.
18. Тутельян В. А. Нутрициология как основа современной диетологии / В. А. Тутельян // Мат. I Всероссийского съезда диетологов и нутрициологов «Диетология: проблемы и горизонты». — М., 2006. — С.111-112.
19. Гладышев, Г. П. О механизме влияния продуктов питания на продолжительность здоровой жизни / Г. П. Гладышев // Успехи геронтологии. — 2008. — Т.21. — № 1. — С. 34-36.
20. Раціональне харчування людей літнього і старечого віку (методичні рекомендації) / Уклад.: Ю. Г. Григоров, В. В. Поворознюк, В. Н. Корзун, А. Є. Подрушняк, Т. М. Семесько, Л. Л. Синьок, Н. В. Григор'єва — К. :Т-во «Знання» України, 2006. — 36с.
21. Roche H.M. Molecular aspects of nutrition / Eds : M. J. Gibney, L. A. Macdonald, H. M. Poche. // Nutrition and metabolism — Oxford : Blackwell Publishing, 2003. — P. 6-29.
22. Валенкович Л. Н. Пищеварительная система человека при старении / Л. Н. Валенкович. —Л.: Наука, 1984. — 224с.
23. Уголев А. М. Эволюция пищеварения и принципы эволюции функций / А. М. Уголев. — Л. : Наука, 1985. — 544 с.

24. Покровский А. А. Атакуемость белков пищевых продуктов протеолитическими ферментами « in vitro»/ А. А. Покровский, И. Д. Ертанов // Вопросы питания. — 1965. — №3. — С.38-44.

25. Пятницкий Н. П. Применение ферментных препаратов для улучшения пищеварения в пожилом возрасте / Н. П. Пятницкий, И. Н. Пятницкая // Материалы 9-ого международного конгресса геронтологов. — Киев, 1972. — С.376.

26. Рустембекова С. А. и др. Коррекция нарушений минерального обмена и микробиотоза кишечника при аутоиммунном тиреоидите /

С. А. Рустембекова, Э. Г. Щербакова, Г. А. Растунова и др. // Тезисы докладов Международной конференции «Пробиотики, пребиотики, синбиотики и функциональные продукты питания. Современное состояние проблемы и перспективы». — М., 2004. — С. 75-76.

27. Кузнецова С. М. Средовые и генетические факторы феномена группового долгожительства // Здоров'я України. — 2003. — №71. — [електр. ресурс]: (<http://health-ua.com/articles/208.html>).

28. Анисимов В. Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения: в 2 т. / В. Н. Анисимов 2-е изд., перераб и испр. — СПб. : Наука, 2008. — Т.1. — 481с; Т.2. — 484 с.

29. Григоров Ю. Г. Питание после шестидесяти / Ю. Г. Григоров, С. Г. Козловская. — Киев, 1985. — 48 с.

30. Семесько Т. М. Особенности питания долгожителей Украины / Т. М. Семесько // Проблемы старения и долголетия, 2011. — Т.20. — №2. — С.140-147.

31. Воронина Л. Вопросы рационального питания у пожилых людей / Л. Воронина // Медицинские новости. — 2007. — № 6. — С. 13-15.

32. Григоров Ю. Г. Регіональні особливості харчування і постаріння населення України працездатного віку / Ю. Г. Григоров, Т. М. Семесько, Л. Л. Синюк, Л. М. Жеваго, І. В. Сапожніков // Проблеми харчування. — 2008. — №1-2. — С.14-19.

33. Давиденко Н. В. Проблема ожиріння в Україні / Н. В. Давиденко, І. П. Смирнова, І. М. Горбась // Журн. практичного лікаря. — 2002. — № 1. — С. 81 - 83.

34. Давиденко Н. В. Динаміка особливостей харчування та аліментарно залежних факторів ризику серцево-судинних захворювань в чоловічій популяції за даними 25-річного моніторингу // Проблеми харчування. — 2008. — №1-2. — С. 20-27.

35. Смоляр В. І. Фізіологія та гігієна харчування / В. І. Смоляр — К. : Здоров'я, 2000. — 332 с.

36. Козловская С. Г. Влияние некоторых особенностей режима питания и пищевых веществ на сердечно-сосудистую систему пожилых людей: Автореф.

канд. мед наук./ С. Г. Козловская — Киев, 1977. — 21 с.

37. Anisimov V. N., Soloviev M.V. The Evolution of Concepts in Gerontology. — St. Petersburg: Aesculap, 1999. — 130 p.

38. *Gerontology: perspectives and issues* / Janet M. Wilmonth, Kennet F. Ferraro, editors. — NY: Springer Publishing Company, LLC, 2013. — 350p.
39. Martin B., Mattson M. P., Maudsley S. *Caloric restriction and intermittent fasting. Two potential diets for successful brain aging* // *Aging Res. Rev.* — 2006. — Vol. 5. — P. 332-353.
40. Сімахіна Г. О. Функціональне харчування у системі відновлення здоров'я та екологічного захисту населення / Г. О. Сімахіна, І. С. Гулий, А. І. Українець, Н. В. Науменко // *Наукові праці Національного університету харчових технологій.* — 2000. — №8. / [електр. ресурс]: (<http://www.journal.nuft.edu.ua/index.php/swnuft.issue/archive>).
41. Смоляр В. І. *Науково-практична конференція з міжнародною участю «Сучасні аспекти раціонального харчування»* // *Проблеми харчування.* — 2008. — №1-2. — С.68-71.
42. Шабров А. В. *Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи.* / А. В. Шабров, В. А. Дадали, В. Г. Макаров. — М.: Авваллон, 2003. — 166 с.
43. Bernhardt N. E., Kasko A. M. *Nutrition for middle aged and elderly* / N. E. Bernhardt, A. M. Kasko. — New York : Nova Biomedical Books, 2008. — 492 p.
44. *Population aging, human capital accumulation, and productivity growth* / Eds: A. Prskawetz, D. Bloom, W. Lutz. — New York : Population council, 2008. — 326p.
45. *Глобальная стратегия ВОЗ по питанию, физической активности и здоровью: Руководство для стран по мониторингу и оценке осуществления.* / Ред. Jonathan Vack — Женева : ВОЗ, 2009. — 47с.
46. Медовар Б. Я. *Питание и особенности азотистого обмена при старении: Автореф. ... д-р мед. наук.* / Б. Я. Медовар. — Киев, 1989. — 36 с.
47. Дідух Н. А. *Наукові основи розробки технологій молочних продуктів функціонального призначення: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук.* — Одеса, 2008. — 49 с.
48. Дідух Н. А. *Заквашувальні композиції для виробництва молочних продуктів функціонального призначення* / Н. А. Дідух, О. П. Чагаровський, Т. А. Лисогор. — Одеса: Видавництво "Поліграф", 2008. — 236 с.
49. Дідух Н. А., *Антиоксидантний комплекс для обогащення ферментированных молочно-зерновых напитков геродиетического назначения* / Н. А. Дідух, С. И. Викуль // *Зернові продукти і біокорма.* — Одеса : ОДАХТ, 2008. — №1. — С.21-26.
50. *Healthy nutrition.* WHO Regional Publications, European Series / W. P. James [et al.] / 2008. — №24. — 150p.
51. Липатов Н. Н. [и др.] *Геродиетические продукты на мясной и молочной основе: Обзорная информация* / Н. Н. Липатов, И. А. Рогов, С. Б. Жарикова, А. П. Чагаровский, А. В. Стефанов — М. : АгроНИИТЭИММП, 1989. — 40с.
52. *Гігієна харчування з основами нутриціології* // За ред. В. І. Ципріяна. — К.: Здоров'я, 1999. — 586 с.
53. Левицкий А. П. *Идеальная формула жирового питания* /

- А. П. Левицкий. — Одесса, 2002. — 63 с.
54. Григоров Ю. Г. Питание и гипертоническая болезнь в старости / Ю. Г. Григоров, С. Г. Козловская, Т. М. Семеско // Проблемы старения и долголетия. — 2002. — №3. — С.273-289.
55. Давиденко Н. В. Динаміка особливостей харчування та аліментарно залежних факторів ризику серцево-судинних захворювань в чоловічій популяції за даними 25-річного моніторингу // Проблеми харчування. — 2008. — №1-2. — С. 20-27.
56. Шендеров Б. А. Функциональное питание и его роль в профилактике метаболического синдрома / Б. А. Шендеров. — М. : ДеЛи принт, 2008. — 319 с.
57. Gavrilo L. A., Gavrilo N. S. Reliability theory of ageing and longevity / Eds: E. J. Masoro, S. N. Austad // Handbook of the biology of aging: 6th ed. — San Diego CA: Acad. Press, 2006. — P. 3-42.
58. Подколзин А. А. Система антиоксидантной защиты организма и старение / А. А. Подколзин, А. Г. Мегреладзе, В. И. Донцов, С. Д. Арутюнов, О. М. Мрикаева, Е. А. Жукова // Профилактика старения. — 2000. — вып. 3. — С. 1-35.
59. Морозкина И. К. Создание мясных полуфабрикатов, используемых в питании для профилактики сердечнососудистых заболеваний / И. К. Морозкина // Мат. I Всероссийского съезда диетологов и нутрициологов «Диетология: проблемы и горизонты». — М., 2006. — С.75-76.
60. Проектирование сбалансированных поликомпонентных пищевых продуктов на основе их нутриентного состава / А. А. Борисенко, Г. И. Касьянов, А. Борисенко (мл.), А. А. Запорожский // Известия вузов. Пищевая технология. — 2005. — №2-3. — С.106-107.
61. Усатиков С. В. Проблемы оптимизации рационов питания, повышающих сопротивляемость организма, при комплексном использовании сырья Краснодарского края / С. В. Усатиков, Т. Л. Троянова, Н. Э. Скобликов // Мат. междунар. науч.- практич. конф. «Инновационные технологии в области холодильного хранения и переработки пищевых продуктов. — Краснодар : КНИИХП, КубГТУ, 2008. — С.235-237.
62. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: Монографія / А. А. Мазаракі, М. І. Пересічний, М. Ф. Кравченко, П. О. Карпенко, С. М. Пересічна, К. В. Свідло та ін.; за ред. М.І. Пересічного. — 2-ге вид., переробл. і доп. — К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. — 1116 с.
63. Доронин А.Ф. Функциональное питание / А.Ф. Доронин, Б. А. Шендеров. — М., Грантъ, 2002. — 296 с.
64. Гуліч М. П. Раціональне харчування та здоровий спосіб життя — основні чинники збереження здоров'я населення // Проблеми старения и долголетия, 2011. — Т.20, №2. — С.128-132.
65. Капрельянци Л. В. Функціональні продукти / Л. В. Капрельянци, К. Г. Йоргачева. — Одеса : Друж, 2003. — С. 127-132.

66. Пересічний М. І. Харчування людини і сучасне довкілля: теорія і практика / М. І. Пересічний, В. Н. Корзун, М. Ф. Кравченко, О. М. Григоренко. — К. : КНТЕУ, 2003. — 526 с.

67. Кодекс Алиментаріус. Продукты специального, в том числе младенческого и детского питания: Пер. с англ. Пластина И. Г.,

Положишникова М. А. — М.: Весь Мир, 2007. — 56 с.

68. Протокол и практическое руководство. Общациональная интегрированная программа профилактики неинфекционных заболеваний (CINDI). — Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 1996. — 100 с.

69. Идз М. Все о витаминах и микроэлементах. — М. : Практика, 1995. — 382 с.

70. Волошина О. В. Новый функциональный продукт питания для профилактики остеопороза / О. В. Волошина, М. В. Палагина, А. А. Набокова // *Мат. VIII Всероссийского Конгресса «Оптимальное питание - здоровье нации»* (к 75-летию ГУ НИИ питания РАМН). — М., 2005. — С.48.

71. Касьянов Г. И. Технология продуктов питания для людей пожилого и преклонного возраста. / Г. И. Касьянов, А. А. Запорожский, С. Б. Юдина. — Ростов-на-Дону: Издательский центр «Март», 2001. — 192 с.

72. Петров А. Н. Геродиетические продукты функционального питания / А. Н. Петров, Ю. Г. Григоров, С. Г. Козловская, В. И. Ганина. — М.: Колос-Пресс, 2001. — 95 с.

73. Горбась І. М. Фактори ризику серцево-судинних захворювань: поширеність і контроль // *Здоров'я України*. — 2007. — № 21. — С. 62-63.

74. Дедух Н. В. Магний и костная ткань (Обзор литературы и собственные данные) / Н. В. Дедух, Л. М. Бенгус, А. Басти // *Остеопороз и остеопатии*. — 2003. — №1. — С. 18-22.

75. Moody H. R. *Agng : Concepts and controversies* / Moody H. R. — SAGE Publ., 2009. — 524p.

76. Гичев Ю. П. Введение в микронутриентологию / Ю. П. Гичев, Ю. Ю. Гичев. — Новосибирск: Академмед, 1997. — 91 с.

77. *Proceedings of 11-th International Congress on Engineering and Food "Food Process in Changing World", Greece, National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering*. — Athens : NTUA, School of Chemical Engineering, 22-26 May 2011.

78. Wilkinson T. *Nutritional status of the elderly: Abstr. S. Pasif. Congr., Christchurch, 1999* / T. Wilkinson. — *N. Z. J. Med. Lab. Sci.* — №3. — P.133-134.

79. Выродов И. П. Геронтологические основы рационального питания и оздоровления организма / И. П. Выродов // *Известия вузов. Пищевая технология*. — 2001. — № 2-3. — С. 77-81.

80. Гладышев, Г. П. О механизме влияния продуктов питания на продолжительность здоровой жизни / Г. П. Гладышев // *Успехи геронтологии*. — 2008. — Т.21. — № 1. — С. 34-36.

81. Караченцев Ю. И. Особенности заболеваний щитовидной железы у лиц пожилого возраста / Ю. И. Караченцев // *НПК "Особливості ендокринної патології в різних вікових періодах"*. — Харків, 2005. — С. 43-44.



82. Чайковская В. В. и др. Старіюче суспільство України / В. В. Чайковская, Л. А. Стаднюк, Л. В. Єгорова, Т. І. Вялих, Н. М. Величко // *Проблемы старения и долголетия*, 2011. — Т. 20, №2. — С.246-251.
83. Григоров Ю. Г. Состояние питания людей старших возрастов / Ю. Г. Григоров // *Журн. АМН України*. — 2002. — 8, № 4. — С. 703-716.
84. Осенняя геронтологическая конференция в Белгороде: Мат-лы межрегион. науч.-практ. конф. (Белгород, 7 окт.2009г.). — Белгород : Белгородское отд. геронтол. об-ва при РАН, 2009. — 32с.
85. Покровский А. А. *Метаболические аспекты фармакологии и токсикологии пищи* / А. А. Покровский. — М. : Медицина, 1979.— 184 с.
86. ЄРБ «Здоров'я для всіх», ВООЗ, — Нью-Йорк, 2005р. — 69с.
87. *Глобальная стратегия ВОЗ по питанию, физической активности и здоровью: Руководство для стран по мониторингу и оценке осуществления.* / Ред. Jonathan Vack — Женева : ВОЗ, 2009. — 47с.
88. *Глобальная стратегия по питанию, физической активности и здоровью.* — Женева : ВОЗ, 2004. — 18 с.
89. *Доклад о состоянии здравоохранения в мире, 2002 г. Уменьшение риска, содействие здоровому образу жизни.* — Женева :ВОЗ, 2002. -16с.
90. Григоров Ю. Г. Современное состояние проблем геродиететики в Украине / Ю. Г. Григоров, С. Г. Козловская, Т. М. Семесько, Л. Л. Синеок // *Проб. харчування*. — 2003. — № 1. — С. 15-25.
91. Burckhardt P. *Osteoporosis and nutrition* // *Ther. Umsch.* — 1998. — 55, № 11. — Р. 712-716.
92. *Comparative biology of aging* / Eds: N. S. Wolf. — Springer-Verlag New York, LLC, 2010. — 388p.
93. *Handbook of the biology of aging* / Eds: E. J. Masoro, S. N. Austad. — Elsevier Science, 2010. —520p.
94. *World congress of gerontology and geriatrics (Paris, 5-9 July 2009): Abstract book 19-th IAGG.* // *J. Nutrition, Health — Aging.* — Paris, 2009. — 794p.
95. Вискунова А. А. *Разработка и оценка эффективности оптимизированных диетических рационов для пациентов с метаболическим синдромом.* Дис. ... канд. мед. наук. — Москва, 2010. — 181 с. / [електор. ресурс]: (<http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-otsenka-effektivnosti-optimizirovannykh-dieticheskikh-ratsionov-dlya-patsientov#ixzz 8zfPPv1d>).
96. Зыкина В. В. *Индивидуализация диетотерапии больных сахарным диабетом типа 2 на основе анализа пищевого статуса с использованием методов нутриметаболомики.* Дис. ... канд. мед. наук. — Москва, 2008. — 139 с. — [електор. ресурс] : (<http://www.dissercat.com/content/individualizatsiya-dietoterapii-bolnykh-sakharnym-diabetom-tipa-2-na-osnove-analiza-pishchev#ixzz 28zcbZi9D>).
97. Hermann J. *Impact of a nutrition promotion program on dietary behaviors, dietary intake, and health measures in adults over fifty-five years of age* / J. Hermann, B. Brown, S. Heintz // *J. Nutr. Elderly.* — 2000. —19, №3. — P.1-14.
98. Holzenberger M. *IGF-1 receptor regulates lifespan and resistance to oxidative stress in mice* / M. Holzenberger, J. Dupont, B. Ducos, P. Leneuve, A.

Geloen, P. C. Even, P. Cervera and Le B. Y. // *Nature*, 2003. — Vol. 421. — P.182-187.

99. *Mild stress and healthy aging: Applying hormesis in aging research and interventions* / Eds : E. Le Bourg, S. I. S. Rattan. — Toulouse: Springer Science, 2008. — 187p.

100. Masoro E. J. *Overview of caloric restriction and ageing* / E. J. Masoro // *Mech. Ageing Dev.*, 2005. — Vol. 126. — P. 913-922.

101. Григоров Ю. Г. Влияние состава рационов на продолжительность жизни старых животных / Ю. Г. Григоров, Б. Я. Медовар, С. Г. Козловская и др. // *Проблемы старения и долголетия*. — 2000. — №1. — С.10-19.

102. Связь особенностей фактического питания с состоянием здоровья пенсионеров и лиц предпенсионного возраста, занятых в машиностроительном производстве / Ю. Г. Григоров, С. Г. Козловская и др. // *Вопросы питания*. — 1988. — № 2. — С. 23-27.

103. Фролькис В. В. *Физиологические механизмы старения* / В. В. Фролькис. — Л. : Наука, 1982. — 228 с.

104. Black M. S. *Determination of metal chalets by inductivity coupled plasma emission spectrometry and application to biological materials* / M. S. Black, M. B. Thomas, R. F. Browner // *Anal. Chem.* — 1981. — Vol. 53. — №14. — P. 2224-2228.

105. Carriere I. *Metabolic Syndrome and Disability: Findings From the Prospective Three-City Study* / I. Carriere, K. Pérès, M. L. Ancelin, V. Gourlet, C. Berr // *J. Gerontol A. Biol. Sci. Med. Sci.*, 2014. — Vol. 69, №1. — P. 79-86.

106. Dumurgier J., Singh-Manoux A., Tavernier B., Tzourio Ch. *And Elbaz A. Lipid-Lowering Drugs Associated With Slower Motor Decline in the Elderly Adults* // *J. Gerontol A. Biol. Sci. Med. Sci.*, 2014. — Vol. 69. №2. — P. 199-206.

107. Frolkis V.V. *Aging, antiaging, ontogenesis and period of age development* / V.V. Frolkis // *Gerontology*. — 1999. — V.45. — P. 227-232.

108. Grundy S. M. *Obesity, Metabolic Syndrome and Cardiovascular Disease*. *J Clin Endocrinol Metab.* — 2004. — Vol.89: —P.259-600.

109. Guiroz Y. *Recommended Dietary Allowances (RDA) for elderly* / Y. Guiroz // *Facts and Research in gerontology 1995 (Supplement: Nutrition)*. — Paris, 1995. — P. 105-215.

110. *Proceedings 6-th Central European Congress on Food, Serbia, University of Novi Sad, Institute of Food Technology*. — Novi Sad : Futura. — 2012. — 23-26 May.

111. Григоров Ю. Г. Особенности фактического питания популяции долгожителей в Азербайджане / Ю. Г. Григоров, С. Г. Козловская, Т. М. Семесько, Ш. А. Асадов // *Вопр. питания*. — 1991. — № 2. — С. 36-40.

112. Семесько Т. М. Особенности питания долгожителей Украины / Т. М. Семесько // *Проблемы старения и долголетия*, 2011. — Т.20. — №2. — С.140-147.

113. Архангельский В. Н. *Потребности пожилого населения в социальном обслуживании* // *Психология зрелости и старения*. — 2002. — №2(18). — С.36-59.

114. Васильчиков В. М. Теоретико-методологические и технологические подходы в решении проблем социально-геронтологической службы / В. М. Васильчиков // Социальная работа: История, теория, технологии (Научная школа профессора Е. И. Холостовой). — М., 2004. — С. 123-136.

115. Синеок Л. Л. и др. Питание одиноких людей старших возрастов и проживающих в домах-интернатах / Л. Л. Синеок, Ю. Г. Григоров, Т. М. Семеско, И. В. Сапожников // Проблемы харчування. — 2005. — №1. — С.29-36.

116. Молевич Е. Ф. К анализу сущности и формы социальной старости / Е. Ф. Молевич // Социс. — М.: Наука, 2001. — №4. — С. 61-63.

117. Авцын А. П. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. А. П. Авцын, А. А. Жаваронков, М. А. Риш и др. — М.: Медицина, 1991. — 496с.

118. Самсонов М. А. Системный подход и системный анализ в диетологии / М. А. Самсонов // Вопросы питания. — 2004. — Т.73. — №1. — С. 3- 10.

119. Кудрин А. В. Микроэлементы в онкологии. Часть 1. Микроэлементы в опухолях / А. В. Кудрин // Микроэлементы в медицине. — 2001. — №1. — С.11- 16.

120. Лавриненко Н. И. Функциональное питание для людей пожилого возраста / Н. И. Лавриненко, Л. М. Павловская, В. З. Егорова // IX Всероссийский Конгресс диетологов и нутрициологов «Питание и здоровье», — М., 2007. — С. 52.

121. Сухоруков Владимир, Ключников Сергей. Рациональная метаболическая коррекция: энерготропная терапия // Медицинская газета. — № 63 от 23 августа 2006г. / [електр. ресурс]:([http://medgazeta.rusmedserv.com/2006/63/article\\_1683.html](http://medgazeta.rusmedserv.com/2006/63/article_1683.html)).

122. Прискорене старіння: механізми, діагностика, профілактика: Мат-ли наук. — практ. конф. з між нар. участю (Чернівці, 10 жовтня 2009 р.) // Буковинський мед. вісник. — 2009. — 13, №4. — 291с.

123. Сучасні технології досягнення здоров'я та довголіття: Мат-ли наук. — практ. конф. з між нар. участю (Київ, 13-14 травня 2009 р.). — К., 2009. — 107с.

124. Анисимов В. Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения: в 2 т. / В. Н. Анисимов 2-е изд., перераб и испр. — СПб.: Наука, 2008. — Т.1. — 481с; Т.2. — 484 с.

125. Svidlo K.V. Technology of functional public catering foods with dietary additives / K. V. Svidlo, M. I. Peresichnyi // Proceedings of 11-th International Congress on Engineering and Food “Food Process in Changing World”, Greece, National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering. — 22-26 May 2011. — Athens: NTUA, School of Chemical Engineering. — P. 2035-2037.

## Розділ 3/Chapter 3

# Удосконалення якості харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах

В.В. Глущенко, О.Г. Бондаренко, Л.Ф. Товма, В.В. Евлаш

## Improving food quality military personnel in stationary and field conditions

Vitalii Hlushchenko, Oleksandr Bondarenko, Lidiya Tovma\*,  
Victoriya Evlash

*National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The thesis dedicates the scientific argumentation of ways of correction of practical general daily ration of nutrition of military personnel service for a fixed period of Armed forces of Ukraine for a optimal nutrition.

In fact, that the practical nutrition of military personnel for the components of dietary intakes and food value doesn't agree with physiological needs of youth undergoing pre-prescription military training during the adaptation for military service.

The ways of correction of practical general daily ration of nutrition and proposed the ways of its correction due to adding the domestics albuminous and vitamins product of special use for military personnel service for a fixed period have been argued. It permitted remove the deficit of vital nutritions into the ration and balanced it; also provided the energy valuables for practical nutrition.

The correction of practical general daily ration has positive changes for structural and functional indexes and status of nutrition of military personnel, their exercise performance, asexual providing of heart rate and central hemodynamics has been improvement. Also the tendencies for the stabilization peroxide-oxidation blood lipids and optimization the process of adaptation for the military services have been determinated.

**Keywords:** *practical general daily ration, nutrition, correction of practical general daily ration, military personnel, status of nutrition, adaptation*

---

\* Corresponding author e-mail: [lf.tovma@gmail.com](mailto:lf.tovma@gmail.com)

### Содержание

#### *Вступ*

#### *3.1. Теоретичний аналіз стану харчування військовослужбовців у стаціонарних та польових умовах*

##### *3.1.1. Теоретичні основи організації харчування військовослужбовців*

##### *3.1.2 Характеристика харчових речовин, що володіють біологічною активністю, виводять радіонукліди і підвищують захисні функції організму*

##### *3.1.3 Дослідження повноцінності та адекватності лікувального пайку в сучасних умовах*

#### *3.2. Шляхи удосконалення якості харчування*

##### *військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах*

##### *3.2.1 Обґрунтування необхідності та способу проведення корекції фактичного раціону військовослужбовців*

##### *3.2.2 Розробка і використання продуктів спеціального споживання для оптимізації раціонів харчування військовослужбовців*

##### *3.2.3 Розробка рекомендацій щодо удосконалення та управління якістю харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах*

#### *Висновки*

#### *Список використаних джерел*

### Вступ

На сьогоднішній день складне соціально-економічне становище в державі все більше вносить негативні корективи в харчування Збройних Сил та інших військових формувань, що проявляється в недостатньому споживанні повноцінної їжі за вмістом білка, вітамінів, мінеральних речовин, поліненасичених жирних кислот і, як наслідок – зниження фізичного розвитку, реабілітації хворих, поранених та уражених й прогресування аліментарної та аліментарно обумовленої патології.

В роботах [1-12] піднімаються питання, пов'язані із формуванням колективних та індивідуальних пайків військовослужбовців, організацією санітарного нагляду і медичного контролю за харчуванням військ, товарознавчими засадами позиціонування продуктів для ентєрального харчування, гігієнічним обґрунтуванням корекції загально-

військового добового раціону харчування військовослужбовців строкової служби Збройних Сил України. Однак питання організації науково обґрунтованого лікувального харчування різних контингентів поранених, уражених та хворих військовослужбовців у спеціалізованій літературі відпрацьовані недостатньо. Також при цьому на сьогодні в літературі відсутня цілісна методика удосконалення якості лікувального харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах.

Метою даної роботи є розроблення рекомендацій стосовно удосконалення якості лікувального харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах.

Предмет дослідження – нутрієнтний склад харчових раціонів військовослужбовців Збройних Сил України.

Об'єкт дослідження – визначення і оцінка стану фактичного харчування військовослужбовців Збройних Сил України.

### **3.1. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ХАРЧУВАННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ У СТАЦІОНАРНИХ ТА ПОЛЬОВИХ УМОВАХ**

#### ***3.1.1. Теоретичні основи організації харчування військовослужбовців***

Харчування військовослужбовців вважається раціональним, коли якісне і кількісне співвідношення речовин у їжі, розподіл її протягом дня відповідає потребам організму та забезпечує високу працездатність і боєздатність особового складу. Близькі до фізіологічних потреб масові співвідношення білків, жирів та вуглеводів, висока енергетична цінність добового раціону забезпечує певною мірою повноцінне харчування військовослужбовців.

Харчування хворих військовослужбовців у медичних пунктах (лазаретах) військових частин та інших закладах охорони здоров'я, за винятком санаторіїв і будинків відпочинку, організовується за нормою № 5 – лікувальна, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 29 березня 2002 року № 426 (за винятком хворих, які забезпечуються харчуванням за нормою № 2 – льотна за рахунок держави безоплатно) [2].

Приготування їжі для хворих у медичних пунктах зі стаціонарами та в лазаретах проводиться в окремих кухнях, що обладнані при медичному пункті (лазареті). За їх відсутності їжа для хворих готується в їдальні військової частини в окремому посуді за окремою розкла-

дкою продуктів за лікувальною нормою під наглядом медичного працівника.

Розкладка продуктів за лікувальною нормою складається один раз на квартал за відповідними дієтами начальником медичної служби за участю начальника продовольчої служби та інструктора-кухаря (старшого кухаря) та затверджується командиром військової частини. Загальне керівництво і відповідальність за організацію лікувального харчування покладається: у шпиталях – на начальника шпиталю та його помічника з матеріального забезпечення, у військових – на начальника медичної служби військової частини. Фізіологічно раціональне харчування хворих передбачається встановленням визначеної кількості прийомів їжі протягом доби, дотриманням належного інтервалу між прийомами їжі, правильністю розподілу норм пайка за прийомами їжі та підбір страв за відповідними дієтами, а також суворим дотримання хворими призначеної дієти. Для більшості хворих найбільш доцільно приймати їжу чотири-п'ять разів, а по окремих дієтах – шість разів на день. Лікувальне харчування призначається лікуючим лікарем, про що указується в історії хвороби. Кожна дієта має свій умовний номер і застосовується при окремих захворюваннях.

Від адекватного забезпечення поживними речовинами залежатиме ефективність решти компонентів лікування. В той же час рівень харчування військовослужбовців, які знаходяться на лікуванні у воєнно-медичних закладах, залежить від трьох складових [4]:

- технології приготування їжі;
- технологічного обладнання;
- використання спеціальних продуктів.

Особливості харчування поранених і хворих полягає в оснащеності клінічних кухонь необхідним технологічним обладнанням і кваліфікацією кухарського складу, що дозволяє приготувати якісну їжу. З метою подальшого удосконалення процесу приготування страв необхідне використання сучасного технологічного обладнання. Унікальні можливості створює в цьому плані застосування пароконвектоматів, що дозволяють з мінімальними втратами поживних речовин забезпечити приготування будь-якої дієтичної страви (котлети парові, горохове пюре, пінники). За рахунок використання функціональних емностей можливе приготування різноманітних перших, других, третіх страв і випічки одночасно в одному апараті. Оскільки специфіка лікувального харчування передбачає використання декількох дієт одночасно, то це обладнання є просто незамінним у використанні.

У польових умовах на відміну від умов стаціонарного розміщення лікувальне харчування має такі особливості. Замість однієї кух-

ні-їдальні на частину або декілька підрозділів розгортаються польові кухні з розрахунку одна на роту. Харчування стає децентралізованим – по підрозділах, групах або може бути навіть індивідуальним. У польових умовах широко застосовують консервовані і концентровані продукти та сухі пайки. Харчуватися сухим пайком з концентратів більше 3-5 днів не рекомендується. Складність і швидкоплинність бойової обстановки можуть викликати порушення регулярності харчування і звичного розподілу їжі на три прийоми. Можуть виникнути труднощі в зберіганні харчових продуктів.

Організація лікувального харчування у особливий період затрудняється через масовість санітарних втрат, необхідності поєднання медичної допомоги й лікування з евакуацією в тил, складності й нестійкості обстановки, у якій працюють лікувальні установи і їх маневреності, а також через труднощі в забезпеченні продовольством, приготуванні й роздачі їжі. У зв'язку з цим діє польових медичних установ рекомендується обмежена кількість дієт:

- дієта шпитальна загальна (по типу дієти № 15);
- дієта шпитальна механічного щадіння (по типу дієти №2);
- дієта шпитальна механічного і хімічного щадіння (по типу дієти № 1);
- дієта щелепна (по типу дієти № 1, ретельно подрібненої);
- дієта зондова (по типу дієти №1, ретельно подрібненої, рідкої);
- дієта для хворих променевою й опіковою хворобами загальна (по типу дієти № 11-б);
- дієта для хворих променевою й опіковою хворобами механічного і хімічного щадіння (по типу дієти № 11-а);
- дієта нульова (по типу дієти № 0).

Характеристики цих дієт подібні до характеристик аналогічних дієт мирного часу, однак показання до їхнього призначення розширені. Призначення лікувальних дієт у всіх випадках відбувається з урахуванням локалізації й розміру ураження, стану хворого й протікання захворювання. У бойовій обстановці збільшується кількість щелепно-лицьових поранених і хворих та зростає роль щелепної й зондової дієт. Їжа по цих дієтах повинна забезпечувати механічне, хімічне й термічне щадіння порожнини рота й глотки, безперешкодно проходити через дренажну трубку або зонд, за допомогою яких її вводять у шлунок.

Досить складним завданням є харчування потерпілих від опіків і хворих променевою хворобою. У цих осіб розвиваються глибокі порушення в обміні речовин, особливо в білковому обміні, сильно страждає функція шлунково-кишкового тракту. Тому пайок для таких хво-



рих має більш високу харчову цінність, ніж шпитальний, і включає різноманітніший асортимент продуктів. Це дозволяє забезпечувати шестиразовоє харчування підвищеної цінності (дієти № 11-а й № 11-б). Їжа готується по типу дієти механічного і хімічного щадіння або загальної дієти.

Харчування хворих, уражених отруйними речовинами, не потребує спеціальних дієт. Необхідність у них виникає при ускладненнях, обумовлених порушенням функції різних органів і систем. Уражені отруйними речовинами легкого і середнього ступеню одержують загальну шпитальну дієту. При ускладненнях пневмонією й гарячковими станами показана дієта № 1. Уражених задушливими отруйними речовинами обмежують у їжі протягом перших трьох днів або призначають їм "цукрові дні". Організація лікувального харчування в польових умовах пов'язана з більшими труднощами, зокрема, через необхідність готувати їжу по декількох дієтах. Щоб уникнути складання розкладок і приготування їжі по кожній із дієт рекомендується використовувати уніфіковані розкладки. При цьому по всіх дієтах плануються страви, схожі за набором продуктів. Розходження в дієтах досягаються за рахунок зміни технології приготування їжі, а в деяких випадках і за рахунок незначної зміни розкладки. Уніфікація передбачає роздільне приготування їжі по дієті загальної і дієті механічного і хімічного щадіння. Інші дієти є похідними від цих двох.

У складній бойовій обстановці для харчування поранених і хворих використовуються лікувальні харчові концентрати і всі види консервів, якщо немає обмежень, обумовлених станом здоров'я.

### ***3.1.2 Характеристика харчових речовин, що володіють біологічною активністю, виводять радіонукліди і підвищують захисні функції організму***

Продукти харчування є джерелом пластичних, енергетичних та захисних речовин, які проявляють лікувальні, фармакологічні, захисні, нейтралізуючі, профілактичні та інші властивості.

Бактерицидні та антивірусні властивості проявляють речовини, що сприяють зниженню забруднення продуктів вірусами чи бактеріями, гальмують їх розвиток, підвищують опірність організму до них. До таких речовин належать: фітонциди, ефірні олії, речовини, що стимулюють фагоцитоз (повноцінні білки, вітамін С), речовини, що підвищують опірність клітин до дії вірусів (повноцінні білки, холін), речовини, що стимулюють вироблення інтерферону.

Антиоксидантні властивості мають речовини, що підтримують детоксикаційну функцію печінки щодо знешкодження токсичних речо-

вин: повноцінні білки (вживання у кількості 10...20 %), сірковмісні амінокислоти, триптофан, глутамінова кислота, лецитин, бетанін, вітаміни В12, В15, В6, холін, пантотенова кислота.

Антихолестеринові властивості мають речовини, що запобігають всмоктуванню та виведенню холестерину з організму, утворюють з холестерином розчинні сполуки, що покращують еластичність судин та шкіри: вітаміни групи В, харчові волокна,  $\beta$ -ситостерин, магній; ксиліт, сорбіт, поліненасичені та високо насичені жирні кислоти.

Нейтралізуючі властивості мають речовини, що нейтралізують та знешкоджують шкідливі чинники зовнішнього та внутрішнього середовища, вільні радикали, радіонукліди, токсичні елементи: специфічні і неспецифічні сорбенти, гепатопротекторні речовини (запобігають ушкодженню печінки – помірні кількості заліза, білки і незамінні амінокислоти, холін, лецитин та інші фосфоліпіди), ліпотропні речовини, кровотворні нутрієнти.

Адаптуючі та стимулюючі властивості мають речовини:

Порошок кореня левзеї сафлоровидної – природний активний адаптоген. Сприяє пристосуванню організму людини до високих фізичних навантажень, психічних перенапружень, стресів, спеки, холоду, подоланню кліматичних зон та впливу всіх видів опромінювання.

Гаурана – натуральний стимулятор центральної нервової системи, що миттєво збагачує організм енергією та стимулює роботу мозку. Володіє тонізуючою дією, посилює опір організму при фізичних і психічних навантаженнях, прискорює перетворення жирів на енергію, покращує кровообіг, тамує почуття голоду, прискорює процес відновлення організму.

Чорний харчовий альбумін – характеризується високим вмістом білка (87 %), заліза, міді, калію, кальцію, натрію, фосфору, причому співвідношення Ca:P та Ca:Mg наближені до оптимального – 1:2 та 1:7.

До харчових речовин, які виводять радіонукліди та підвищують захисні функції організму, відносять альгінат натрію харчовий, пектин, квітковий пилок, пшеничні висівки, яблучний порошок.

Альгинати – полісахариди, які одержують виділенням альгінової кислоти у вигляді натрієвої солі (альгінату натрію), лужною екстракцією бурих морських водоростей (ламінарії).

Альгінат натрію – світло-коричневі пластинки з жовтим відтінком, які у воді (оптимальне співвідношення 1:10) набухатимуть і набувають драглистої консистенції. Смаку і запаху альгінат натрію не має. Він не змінює своїх властивостей при тривалому кип'ятінні. У виробництві продуктів харчування застосовується як стабілізатор-емульгатор та речовина, що утворює драгли.

При виготовленні солодких страв, напоїв та перших страв альгінат натрію заливають холодною кип'яченою водою або молоком (1:10), витримують протягом 1 год. та доводять до кипіння. Готовий розчин проціджують і використовують згідно з технологією виробництва продукції. До борошняних і кондитерських виробів харчовий альгінат натрію додають сухим. Харчовий альгінат натрію використовують у харчуванні при тривалому надходженні до організму радіоактивного стронцію.

Пектин одержують з різних рослинних продуктів: яблук, ягід, буряків та ін. Він має вигляд порошку від білого до сіро-коричневого кольору з слабо вираженим ароматом та смаком плодів і овочів, з яких його виробляють. У суміші з цукром добре розчиняється у воді, при кип'ятінні та наступному охолодженні утворює драглисту масу.

Пектинові речовини мають цінні біологічні властивості, регулюють вміст холестерину, позитивно впливають на внутрішньоклітинні реакції дихання та обміну речовин, підвищують стійкість організму до алергічних факторів. Пектинові речовини стимулюють загоєння ран, прискорюють лікування опіків, виводять радіонукліди.

Перед використанням пектин попередньо змішують з цукром-піском (оптимальне співвідношення 1:5) і цю суміш додають у напої, солодкі страви та різні вироби. Крім здатності утворювати драгли пектин має цінні лікувальні та біологічні властивості. Він є добрим засобом при лікуванні захворювань шлунково-кишкового тракту, виразки шлунка, пригнічує гнильні процеси в кишківнику.

Квітковий пилок (бджалиний обніж) виробляють у вигляді гранул, різних за розміром (1-3 мм) та забарвленням (від жовто-зеленого до світло-коричневого), трохи солодкуватих з ароматом і присмаком квітів та меду, без стороннього смаку та запаху, які добре розчиняються у воді. Він добре стимулює імунну систему, підвищує захисні функції організму.

Пшеничні висівки одержують при подрібненні зерна та сортуванні його часток за розміром і масою. У сухому стані пшеничні висівки – це подрібнені частки розміром до 2 мм, від білого до сірого кольору. Запах та смак відповідають свіжерозмеленому зерну.

Пшеничні висівки є джерелом ряду біологічно активних речовин та харчових волокон і містять у середньому 15,1 % білків, 3,8 % жирів, 53,6 % вуглеводів, 8,2 % клітковини, їх додають до різних страв (перших, киселів, желе, виробів з котлетної маси, голубців та ін.). Із пшеничних висівок можна готувати кондитерські вироби або замінювати ними 30...50 % пшеничного борошна при випіканні булочки,

печива. Пшеничні висівки рекомендується використовувати у стравах з сиру, гарбуза, запіканок і бабок.

Перед використанням пшеничні висівки просяють і підсушують у духовій шафі при температурі 90 °С протягом 15 хв.

Яблучний порошок виготовляють у вигляді порошкоподібної однорідної маси від світло-кремового до кремового кольору. Смак і запах його властивий вихідній сировині, без ознак прогірклості та підгорілості.

Проведені в Українському центрі радіаційної медицини медико-біологічні дослідження впливу раціонів харчування, які включають страви та кулінарні вироби з використанням пектину, альгінату натрію, пшеничних висівок, квіткового пилку та яблучного порошку, свідчать, що вони в 2–3 рази прискорюють виведення радіонуклідів, підвищують захисні функції організму людини.

Морська капуста – водорість коричневого або темно-зеленого кольору, багата на мікроелементи (йод, кобальт, нікель, молібден, рубідій та ін.) і вітаміни С, В2, В12, А, Д, Е, тому її використовують для приготування дієтичних страв. На підприємства масового харчування надходить сушеною, мороженою й консервованою. Сушену морську капусту обчищають від механічних домішок, замочують у холодній воді у співвідношенні 7-8:1 протягом 12 год. і промивають. Морожену капусту розморожують у холодній воді протягом 30 хв, а потім промивають. Сушену і морожену капусту кладуть у киплячу воду без солі (на 1 кг – 2,1 л води) і варять протягом 2 год. при слабкому кипінні, поки не стане м'якою. Гото-ву капусту зберігають у відварі до наступного дня. Відвар зливають, капусту заливають холодною водою і зберігають у холодильній шафі. Використовують для приготування салатів, вінегретів, соусів, перших страв та подають як гарнір.

### **3.1.3 Дослідження повноцінності та адекватності лікувального пайку в сучасних умовах**

Особовий склад військ виконує службово-бойові завдання в зоні проведення антитерористичної операції. За цих умов виникає необхідність у розробці та науковому обґрунтуванні дієвих заходів, спрямованих на забезпечення раціону харчування хворих військовослужбовців ЗС України всіма необхідними компонентами їжі з метою створення умов для оптимального функціонування організму, що визначає актуальність даної роботи.

Як показує досвід локальних воєнних конфліктів постраждалі з ушкодженнями кісткової та м'язової систем складають значну частину

загальних санітарних втрат особового складу військ [8]. Аналіз сучасного стану організації харчування хворих травматологічного профілю досліджень доводить, що навіть у стаціонарних умовах ця категорія військовослужбовців не отримує спеціальну дієту, яка містить необхідні поживні речовини для нормалізації обмінних процесів у кістковій тканині [9,10,12]. Це, перш за все, есенціальні нутрієнти – вітаміни (С, А, D, Е, групи В), мінеральні речовини (кальцій, цинк, магній, фтор, йод, кремній та ін.). Цілеспрямоване харчування поранених, уражених та хворих людей сприяє скороченню термінів лікування, попереджує ускладнення та прискорює реабілітацію.

Для покращення якості лікувального харчування військовослужбовців строкової служби Збройних Сил України та інших військових формувань необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз біологічної та харчової цінності нормативного та фактичного добових раціонів (норма №5).

2. Визначити й обґрунтувати необхідність та спосіб проведення корекції фактичного харчового раціону для відтворення найбільш адекватної енергетичної цінності та оптимального нутрієнтного складу.

3. Проаналізувати на основі опублікованих досліджень вплив харчування до та після проведення корекції фактичного раціону військовослужбовців строкової служби на адаптаційні та реабілітаційні механізми організму.

4. Розробити та впровадити у практику військово-медичної служби рекомендації щодо медичного контролю за організацією лікувального харчування військовослужбовців ЗС України.

В роботах [1,3,5] встановлено незбалансованість білкової квоти нормативного і фактичного раціонів за рахунок перевантаження рослинними білками та дефіциту повноцінних тваринних білків. Нормативний раціон містить 41 г тваринного та 81 г рослинного білку, а фактичний – в середньому 33,3 г та 76,0 г відповідно, що не задовольняє фізіологічні потреби людини IV групи важкості праці, до якої відноситься діяльність військовослужбовців, оскільки спожитий білок їх добового раціону повинен на 55 % складатися з тваринного компонента та на 45 % – з рослинного.

Дослідження показали, що жирова квота як нормативного, так і фактичного раціонів перевищувала рекомендовані фізіологічні потреби в ліпідах (100 г) відповідно на 3,9 % та 8,3 %. Встановлено, що ці раціони не збалансовані за вмістом жирних кислот.

Показник вуглеводної частки фактичного раціону виявився  $585,0 \pm 3,5$  г, що менше на 8,0 % вуглеводної квоти нормативного раці-

ону військовослужбовців (635,30 г) і не відповідає нормам фізіологічних потреб для працездатного населення IV групи фізичної активності (624,0 г на добу).

Виявлено недостатній вміст легкозасвоюваних вуглеводів у фактичному раціоні (17,6 %) та нормативному (18,2 %), при фізіологічно рекомендованому 25...30 %.

Оцінюючи вітамінну забезпеченість фактичного і нормативного раціонів, встановлено:

– за вмістом вітаміну А у фактичному ( $0,84 \pm 0,03$  мг) і нормативному раціонах (0,9 мг) поступаються добовим нормам фізіологічних потреб (1 мг) відповідно на 16 % та 10 %;

– вміст вітаміну В2 у фактичному раціоні склав  $1,34 \pm 0,01$  мг, що на 13,5% менше, ніж передбачено у нормативному (1,55 мг). При цьому ні фактичний, ні нормативний раціони не відповідають фізіологічним добовим потребам молодих людей (2,0 мг);

– середньорічна квота вітаміну С у добовому фактичному раціоні склала  $43,52 \pm 1,63$  мг, що лише на 52,3 % задовольняє добові фізіологічні потреби організму військовослужбовців (не менше 80,0 мг на добу). Крім того, цей показник менший на 15 %, ніж передбачено нормативним раціоном (51,23 мг).

– щорічно з 15 березня по 15 червня проводиться додаткова вітамінізація шляхом видачі 1 драже/добу “Тексавіт”, що дозволяє забезпечити фізіологічні потреби військовослужбовців у вітамінах. Однак в інші місяці року дефіцит вітамінів А, В2, С зберігається.

Встановлено, що в середньому фактичний раціон містить 718,31 мг кальцію, який лише на 59,9 % задовольняє добові потреби молодих людей в ньому.

Виявлено дисбаланс між вмістом кальцію, фосфору і магнію в нормативному (1:2,5:0,8) та фактичному раціоні (1:2,6:0,8), що не відповідає оптимальному їх співвідношенню (1:1(1,5):0,3) й перешкоджає засвоєнню кальцію з їжею.

Встановлено незбалансованість білків, жирів і вуглеводів за маєю у фактичному (1:0,9:5,3) та нормативному раціонах (1:0,9:5,2) при нормах фізіологічних потреб для населення України відповідної статі, віку та інтенсивності праці, відповідно – 1:0,9:6. Внесок основних нутрієнтів у загальний енергетичний калораж фактичного і нормативного раціонів склав: білки – 12 %, жири – 25 %, вуглеводи – 63 % при фізіологічних нормах для відповідного віку та фізичного навантаження – Б:Ж:В = 11% : 24% : 65%. В цілому ж енергетична складова фактичного раціону військовослужбовців знаходилася в середньому на рівні

3715 ккал, що менше на 7,4 %, ніж передбачено нормативним (4010,2 ккал) і на 5 % – добової норми фізіологічних потреб (3900 ккал).

Таким чином, на основі проведеного теоретичного аналізу досліджень добового і фактичного раціонів військовослужбовців встановлено необхідність відтворення оптимального за вмістом нутрієнтів харчового раціону, відповідно до норм фізіологічних потреб для найшвидшої реабілітації особового складу в період лікування поряд із медикаментозними засобами. Варіант такого відтворення може бути здійснений шляхом щоденного додавання до фактичного раціону вітчизняних білково-вітамінних продуктів спеціального призначення.

### **3.2. Шляхи удосконалення якості харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах**

#### **3.2.1 Обґрунтування необхідності та способу проведення корекції фактичного раціону військовослужбовців**

Автором [1] встановлено, що фактичне харчування військовослужбовців за нутрієнтним складом та енергетичною цінністю не відповідає затвердженому нормативному раціону і не задовольняє фізіологічні потреби молодих людей при адаптації до військової служби і в період реабілітації хворих у зв'язку з недостатнім вмістом повноцінних тваринних білків і надлишком рослинних, незбалансованим співвідношенням есенціальних амінокислот: триптофану, лізіна і метіонину (1:4,5:3,9), жирних кислот, недостатнім вмістом моно- і дисахаридів (17,6 %), незбалансованістю кальцію, фосфору і магнію (1:2,6:0,8), дефіцитом вітамінів А (0,84 мг), В2 (1,34 мг) та С (43,5 мг). У зв'язку з цим обґрунтовано і визначено напрямок корекції фактичного раціону військовослужбовців строкової служби. Автором [1] запропонований спосіб його корекції шляхом додавання 60 г вітчизняного білково-вітамінного продукту спеціального вживання для відновлення оптимального нутрієнтного складу за рахунок вмісту недостатньої кількості тваринних білків (на 34,2 г), незамінних амінокислот, моно- і дисахаридів (на 19,8 г), вітамінів – А (на 0,3 мг), В2 (на 0,7 мг), С (на 45,0 мг) і мінеральних речовин – кальцію (на 360 мг). Результатами досліджень підтверджена ефективність заходів по корекції фактичного раціону значним підвищенням рівня працездатності.

Встановлено, що при корекції фактичного раціону за рахунок збагачення повноцінними білками (в 2 раза), незамінними амінокислотами, вітамінами-антиоксидантами (А – на 39,3%, С – в 2,3 раза), міне-

ральними речовинами, захворюваність військовослужбовців знизилась в 1,2 рази. Але у літературних джерелах відсутня інформація про наукове обґрунтування шляхів корекції щодо відтворення найбільш оптимального нутрієнтного складу та адекватної енергетичної цінності лікувального раціону військовослужбовців строкової служби ЗС України, що потребують медичної допомоги.

За критеріями Всесвітньої організації охорони здоров'я наша країна вступила в період епідемії туберкульозу. Основними причинами збільшення поширення туберкульозної інфекції є [5]:

- погіршення соціально-економічних умов життя значної частини населення;
- локальні збройні конфлікти;
- збільшення міграційних процесів із регіонів, які найбільш несприятливі по туберкульозу;
- зростання чисельності соціально дезадаптованого населення;
- поширення туберкульозу особами, які повернулися із місць позбавлення волі;
- порушення принципів раціонального харчування;
- різке скорочення фінансування лікувальних і профілактичних протитуберкульозних заходів, зниження рівня організації протитуберкульозної допомоги населенню.

Ці чинники, в свою чергу, призводять до збільшення чисельності хворих з різними формами туберкульозу.

Збройні Сили України та інші військові формування є невід'ємною частиною суспільства, а тому погіршення епідеміологічної ситуації в країні потребує розглядати профілактику та лікування туберкульозу серед військовослужбовців як одне із значущих завдань, спрямованих на підвищення боєздатності військ. Одним із найважливіших факторів, що сприяють скороченню термінів лікування та реабілітації хворих являється їх раціональне харчування, яке відповідає потребам організму при даному захворюванні. Повноцінне харчування – це основа для стимулювання та посилення інтенсивності репаративних процесів у організмі, нормалізації функції різних органів і систем, підвищення імунорезистентності. На жаль, питання організації науково обґрунтованого лікувального харчування, і особливо спеціалізованого, яке б урахувало ступінь тяжкості стану організму, специфіку порушення обмінних процесів відпрацьовані недостатньо. Основою системи харчування хворих повинен стати спеціально розроблений раціон, призначений для певного виду захворювання. Він має включати науково обґрунтований набір продуктів, який по енергетичній цінності і вмісту поживних речовин повинен відповідати потребам органі-



зму хворого. Крім того, спеціалізовані продукти мають володіти функціональними властивостями і заданим хімічним складом, що дозволить стимулювати анаболітичні процеси в організмі та корегувати обмінні процеси. Результати аналізу лікувальної норми №5 по своїй енергетичній цінності та хімічному складу, особливо в період прогресування захворювань, не повністю задовольняють потреби хворого.

Аналіз літературних джерел [1-12] дає змогу стверджувати, що для прискорення реабілітації організму необхідно підвищити білково-енергетичне співвідношення до рівня 140-160 г на добу, причому квота тваринного білка повинна складати 70-75 г. Рекомендоване споживання жиру необхідно підтримувати на рівні 130-150 г, а вуглеводів – 630-690 г. Необхідно звернути увагу на вміст поліненасичених жирних кислот, вітамінів, мінеральних речовин, враховуючи, що ці речовини відіграють важливу роль для підтримки нормального функціонального стану та відновлення організму. Їх вміст повинен бути підвищений, порівняно із фізіологічними нормами для здорових людей. З наукової точки зору важливою є наявність у лікувальній нормі ретинолу (вітаміну А), тіаміну (вітаміну В1), піридоксину (вітаміну В6), токоферолу (вітаміну Е), аскорбінової кислоти (вітаміну С), вітаміну D, мінеральних речовин – кальцію, заліза, міді, цинку. Корегувати вміст у раціоні есенціальних мікронутрієнтів можна за рахунок додавання до його складу вітамінно-мінеральних комплексів.

### ***3.2.2. Розробка і використання продуктів спеціального споживання для оптимізації раціонів харчування військовослужбовців***

Першочерговим завданням в питаннях організації харчування повинна стати розробка продуктів спеціального споживання, які виявляють нормалізуючий вплив безпосередньо на ті чи інші патології. Вони мають володіти адаптогенними, імуномодельючими та загальнозміцнюючими властивостями. Такі продукти на даний час відсутні у нашій країні. Необхідно провести ряд досліджень, щоб виявити перспективні засоби, що мають такі властивості. Перш за все вже відомі та вивчені продукція бджільництва, екстракти лікарських трав, які містять широкий спектр біологічно активних речовин та адаптогенів рослинного походження.

Звичайно, що підбір рецептурного складу цих інгредієнтів в кожному конкретному продукті буде здійснювати з урахуванням їх сумісності, рекомендацій до застосування та медико-економічної доцільності. Важливо зазначити, що дані біологічно активні речовини повинні

додаватися в продукти, максимально збалансовані по своєму хімічному складі.

Враховуючи хімічний склад продуктів та його вплив на організм людини, можна для розробки нових продуктів використовувати сухий яєчний білок, продукти бджільництва, молочний протеїн та ін. Ці компоненти легко гідролізуються і засвоюються травною системою, сприяють нормалізації обмінних процесів та імунорезистентності організму в цілому, стимулюють репаративні процеси в кістковій тканині.

В посттравматичний період організм хворих особливо потребує поновлення пластичних і енергетичних функцій. Тому якраз підтримка нутрієнтів буде позитивно впливати на ефективність кваліфікованої медичної допомоги.

Постановою Кабінету Міністрів України від 29. 03. 2002 р. № 426 “Про норми харчування військовослужбовців Збройних Сил, інших військових формувань та осіб рядового, начальницького складу органів і підрозділів цивільного захисту та Державної служби спеціального зв’язку та захисту інформації” (зі змінами) визначені продовольчі пайки для різних категорій військовослужбовців, але в них не передбачені спеціальні продукти [2]. Аналіз харчування хворих в стаціонарних і польових умовах свідчить, що діюча норма лікувального пайку за хімічним складом і енергетичною цінністю не відповідає потребам організму.

З огляду на те, що військовослужбовці виконують бойові завдання в зоні проведення антитерористичної операції, з метою удосконалення харчування поранених і хворих, що знаходяться на лікуванні в польових воєнно-медичних закладах, необхідно розробити польовий медичний раціон, який має бути основою системи харчування хворих. Це пріоритетне завдання в питаннях організації харчування даної категорії військовослужбовців. Основними вимогами до раціону і продуктів спеціального споживання є наступні [3]:

- енергетична адекватність;
- оптимальна кількість збалансованих харчових речовин;
- імунокорегуюча, гастро- і гепатопротекторна дія;
- нормалізуючий вплив на кишкову мікрофлору;
- нешкідливість для організму.

Продукти спеціального споживання повинні володіти рядом специфічних властивостей: протизапальними, спазмолітичними, кровозупинними. Інші необхідні властивості польового медичного раціону (детоксикаційна, протиалергійна, гепатопротекторна дії, нормалізація кишкової мікрофлори і т.д.) забезпечуються додаванням до їх

складу продуктів, збагачених лакто- і біфідобактеріями, морепродуктів, мінеральних вод.

Важливим пунктом у масовому виробництві спеціалізованої продукції є її дозування та пакування. Вони повинні бути зручними для транспортування, зберігання і споживання як у стаціонарних, так і в польових умовах, не потребувати особливих умов зберігання, приготування, порціонування.

Інший напрямок у поліпшенні харчування хворих військовослужбовців полягає в оптимізації раціону харчування. Відповідно до формули збалансованого харчування й кількістю витрат енергії виділяють можна виділити наступні групи, де  $kb$  – частка білків,  $kg$  – частка жирів,  $ku$  – частка вуглеводів [3]:

$$E = 4500 \dots 5000 \text{ ккал: } kb / kg / ku = 0,13 / 0,29 / 0,58; \quad (1)$$

$$E = 5500 \dots 6500 \text{ ккал: } kb / kg / ku = 0,12 / 0,28 / 0,60; \quad (2)$$

$$E = 6500 \dots 8000 \text{ ккал } kb / kg / ku = 0,11 / 0,27 / 0,62. \quad (3)$$

Враховуючи перспективність розробки продуктів спеціального споживання для хворих військовослужбовців, можна легко комбінувати склад раціонів харчування залежно від стану організму та виду захворювання. Перспективними продуктами для розробки в цьому напрямку є фаршировані вироби (пиріжки, млинчики, ватрушки та інші) [13].

Перспективність використання фаршированих виробів полягає в тому, що при фіксованій харчовій цінності оболонки залежно від інгредієнтів фаршів і їх співвідношення, можна створювати вироби із заданою харчовою цінністю.

Одним з ключових чинників, що формує параметри відповідності харчової системи до властивостей, які від неї очікують виступає спосіб оптимізації співвідношення її рецептурних компонентів. Для вирішення задачі оптимізації проводиться цільове комбінування рецептурних інгредієнтів відповідно до комплексу бажаних нативних властивостей.

В якості компонентів модельної фаршевої системи можна обрати традиційні для української кухні харчові інгредієнти: нежирний кислий сир, м'ясо яловичини та протерте картопляне пюре.

Отже, основним напрямком при створенні якісно нового харчового продукту чи суміші підвищеної біологічної цінності з цільовою зміною їх хімічного складу відповідно до медико-технічних вимог є максимальна збалансованість продуктів за основними поживними речовинами з додаванням широкого спектру есенціальних мікронур-

тіентів (мінеральних речовин, вітамінів) та біологічно активних речовин.

### **3.2.3 Розробка рекомендацій щодо удосконалення та управління якістю харчування військовослужбовців у стаціонарних і польових умовах**

Головна мета удосконалення якості лікувального харчування – підвищення рівня медичної допомоги у відповідності до державних і світових стандартів. Але в умовах економічних та політичних змін спостерігається помітне погіршення стану загальнонаціональної системи охорони здоров'я. Має місце невідповідність між потребами населення (в т.ч. і військовослужбовців) в медичному забезпеченні та фінансуванням галузі. Зниження ефективності функціонування Міністерства охорони здоров'я відбувається внаслідок тривалого екстенсивного розвитку відомства, його надзвичайно складної структури, великої кількості закладів охорони здоров'я, де зосереджені значні кошти та сили, недоліків у системі організації надання всіх видів послуг медичної допомоги.

Удосконалення якості лікувального харчування може бути досягнуто цілим комплексом заходів, серед яких ключовим є управління якістю продовольчим забезпеченням в цілому і якістю харчування зокрема.

Проблеми, що заважають удосконаленню якості харчування, полягають у наступному:

- недооцінювання рівня, місця і значення новітніх технологій в лікувальному харчуванні;
- невідповідність між потребами поранених і хворих військовослужбовців та фінансуванням воєнно-медичних закладів;
- відсутність довготривалої програми розвитку Збройних Сил та інших військових формувань;
- відсутність співпраці Міністерства оборони з Міністерством охорони здоров'я в питаннях організації та удосконалення лікувального харчування;
- відсутність у структурі Міністерства оборони кваліфікованих фахівців, науково-дослідних лабораторій з питань санітарії і гігієни харчування.

Про якісне лікувальне харчування можна говорити, коли воно відповідатиме стандартам харчових технологій. Саме для досягнення цієї мети необхідний контроль, як невід'ємна складова системи управління якістю.

Виділимо три підходи до контролю якості в організації лікувального харчування: структурний, процесний і кінцевий.

Структурний підхід до контролю якості передбачає атестацію спеціалістів, що займаються організацією лікувального харчування, їх професійна підготовка і відповідність займаним посадам; оснащеність воєнно-медичних закладів новітнім обладнанням, тарою, інвентарем; використання спеціалізованих продуктів.

Процесний підхід доповнює структурний і полягає в оцінці якості процесу організації лікувального харчування. Він опирається на стандарти і потребує залучення експерта.

Кінцевий підхід – це контроль відповідності результативності виконаної роботи запланованому кінцевому результату.

Проведені наукові дослідження в області здорового харчування дають нам змогу визначити основні напрямки в модернізації раціонів харчування:

1. Розширення асортименту продуктів з можливістю широкого використання принципу їх взаємозамінності за функціональним призначенням.

2. Розробка нових видів спеціальних продуктів направленої дії з використанням біологічно активних добавок ( дієтичних добавок) природного походження.

3. Розробка і впровадження у лікувальне харчування нових технологій і рецептур страв лікувально-профілактичної спрямованості.

4. Створення високопоживних продуктів підвищеної харчової цінності, які являються спеціалізованими білково-вітамінно-мінеральними комплексами заданого складу з додаванням біологічно активних речовин і призначені для корекції порушень статусу харчування.

5. Створення спеціальних бальзамів на основі продуктів бджільництва із заданими лікувально-профілактичними властивостями та високою харчовою цінністю.

Вирішення цих проблем є перспективним напрямком покращення якості, а також корекції різноманітних порушень статусу харчування.

У сучасних умовах відсутність системного підходу до створення методичної бази здійснення контролю в різних типах закладів власного виробництва створила ситуацію, в якій залишаються не захищеними як підприємства, так і споживачі.

Вимоги до продуктів і раціонів харчування:

- повинні зберігати поживні речовини в процесі їх технологічної обробки;

- мати підвищену біологічну і харчову цінність та смакові параметри, що максимально відповідають свіжим продуктам;
- мати добру засвоюваність організмом, відповідати встановленим санітарно-гігієнічним вимогам;
- забезпечувати приготування різноманітного гарячого харчування в польових умовах, мати малі масо-габаритні характеристики, а також скорочення додаткових операцій при кулінарній обробці, дозволяти приготуванню їжі в короткі строки, з мінімальними затратами праці, часу, палива, та води;
- кожна упаковка і розфасовка продуктів та раціонів харчування повинна бути компактна, розрахована на певну кратну кількість дободач, дозволяти проводити видачу вмісту упаковки на одну варку, один прийом їжі або на добу без попереднього зважування;
- продукти повинні зберігати свої якісні характеристики при довготривалому зберіганні (не менше двох-трьох років) в приміщеннях, що не мають опалення (складах);
- бути придатними для використання на поточне забезпечення при поновленні запасів;
- раціони харчування повинні мати подвійне призначення, тобто продукти, що входять до раціону повинні застосовуватись в харчування без обробки, або при наявності технічних засобів (теплових апаратів) із них може готуватися гаряча їжа;
- упаковка та транспортна тара повинні надійно захищати продукти і раціони від дії атмосферних опадів, радіоактивних і ядовитих речовин.

Аналізуючи теоретично область сучасних харчових технологій можна визначити такі основні напрямки в розробці продуктів та модернізації раціонів харчування:

1. Розширення асортименту продуктів з можливістю широко використання принципу їх взаємозамінності по функціональному призначенню.
2. Розробка нових видів упаковки в першу чергу для консервованих обідніх страв в ламістері.
3. Розробка нових видів спеціальних продуктів направленої дії з використанням дієтичних добавок природного походження, сучасних антиоксидантів, консервантів, і емульгаторів

Соціальна та економічна значущість впровадження інноваційних технологій у лікувальне харчування військовослужбовців полягає в наступному:

1. Розширення асортименту високоякісної та соціально значущої для хворих військовослужбовців України харчової продукції функціональної та лікувально-профілактичної спрямованості.

2. Забезпечення її екологічної безпечності та доступності для державного бюджету України.

3. Підвищення харчової та біологічної цінності добового раціону хворих військовослужбовців.

4. Згладжування сезонності споживання різних видів харчових інгредієнтів.

5. Джерело економічного ефекту для виробничих підприємств за рахунок застосування високоефективних енерго- та ресурсозберезних методів обробки, що призводить до зниження собівартості продукції.

З огляду на це для корекції добового харчового раціону, що дозволить оптимізувати статус харчування різних категорій військовослужбовців строкової служби ЗС України, як одного з головних чинників підвищення рівня здоров'я й професійних якостей, необхідно розробити технологію та запровадити продукти спеціального споживання.

Для досягнення поставленої мети в межах проекту «Наука для армії» на підставі договорів про наукову співпрацю між: ТОВ науково-виробниче підприємство «Гемо-проект», Харківський державний університет харчування та торгівлі, Національна академія Національної гвардії України, Харківський державний фармацевтичний університет та кондитерська фабрика «Солодкий світ» було проведено фізіолого-гігієнічну оцінку добових раціонів харчування різних категорій військовослужбовців строкової служби ЗС України №№ 1, 2, 5, 8, 10, 15, затверджених Постановою кабінету Міністрів №426 від 29.03.2002 р. За результатами дослідження було встановлено: фактичне харчування військовослужбовців за нутрієнтним складом та енергетичною цінністю не відповідає затвердженому нормативному раціону і не задовольняє фізіологічні потреби молодих людей при адаптації до військової служби і в період реабілітації хворих у зв'язку з недостатнім вмістом повноцінних тваринних білків і надлишком рослинних, незбалансованим співвідношенням есенціальних амінокислот: триптофану, лізину і метіонину (1:4,5:3,9), жирних кислот, недостатнім вмістом моно- і дисахаридів (17,6 %), незбалансованістю кальцію, фосфору і магнію (1:2,6:0,8), дефіцитом вітамінів А (0,84 мг), В2 (1,34 мг) та С (43,5 мг), що підтверджується і авторами [1,15]. У зв'язку з цим обґрунтовано і визначено напрямок корекції фактичного раціону різних категорій військовослужбовців строкової служби. Науковцями ХДУХТ спільно з ТОВ науково-виробниче підприємство «Гемо-проект» розроблено та

впроваджено у виробництво технологію дієтичної добавки «Нутріо-гем» на основі крові великої рогатої худоби. «Нутріо-гем» містить повноцінний білок (85г на 100г продукту) і гемове двовалентне органічне залізо Fe<sup>2+</sup> (1г на 1 кг продукту), яке знаходиться в тій же формі, в якій воно входить до складу білків міоглобіну та гемоглобіну крові людини. Залізовмісна частина молекули білка – гем, однакова у тварин і людини, що визначає їх фізіолого-біохімічну сумісність.

Гемове залізо найбільш доступне для людського організму, так як всмоктується клітинами слизової оболонки кишківника повністю на 90% і на цей процес практично не впливають інші компоненти їжі.

У харчовому раціоні військовослужбовців гемове залізо знаходиться лише в м'ясних продуктах. Значна частина харчового заліза – негемове, знаходиться в іонній формі: двовалентне Fe<sup>2+</sup> або тривалентне Fe<sup>3+</sup> та міститься в крупах і овочах. Амінокислотний склад дієтичної добавки «Нутріо-гем» наведений у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

**Амінокислотний склад дієтичної добавки «Нутріо-гем» (на 100 г продукту)**

Найменування амінокислоти	Вміст, г
Триптофан	1,2
Лізин	6,1
Валін	4,91
Лейцин	8,75
Ізолейцин	0,51
Фенілаланін	5,24
Метіонін	1,41
Тріонин	3,95
Гістидин	4,29
Аргінін	3,23
Аспаргінова кислота	4,18
Серин	4,41
Глутамінова кислота	9,16
Пролін	3,58
Гліцин	3,49
Аланін	6,3
Цистеїн	1,85
Тирозин	2,46

Як видно із табл. 3.1, у дієтичній добавці «Нутріо-гем» присутні всі амінокислоти у необхідній кількості, тобто білок є повноцінним.



У межах проекту «Наука для армії» розроблена технологія білково-вітамінного продукту спеціального споживання «VitaBar»: батончиків «Переможець» та «Воєнно-польовий», до складу яких входить сировина вітчизняного виробництва: сироватка сушена, білок соняшникового насіння, залізовмісна дієтична добавка «Нутріо-гем», сушені фрукти, вівсяні пластівці. У табл. 3.2 наведено хімічний склад батончиків «Переможець» та «Воєнно-польовий».

Таблиця 3.2

**Хімічний склад батончиків «Переможець» та «Воєнно-польовий»  
(на 100 г продукту)**

Поживні речовини	«Переможець»	«Воєнно-польовий»
Білки,г	14,0	22
Жири,г	11,0	10
Вуглеводи,г	68,0	63
Харчові волокна,г	6,8	5
Вітаміни, мг:		
B1	0,33	0,4
B2	0,1	0,4
B5	-	1,5
B6	-	0,5
B12	-	0,7
PP	2,59	4,5
C	6,5	22
b-каротин	11,6	
Фолієва кислота (B9)	-	20
E	-	3,3
Гемове залізо, мг	5,2	7,5
Калорійність, ккал	417	430

Як видно з табл. 3.2 батончики містять значну кількість повноцінного білка, вуглеводів і жиру та не містять штучних консервантів, емульгаторів, стабілізаторів, барвників. Тобто є потужним джерелом вітамінів, мінеральних речовин, органічних кислот та харчових волокон.

Батончики «Переможець» та «Воєнно-польовий» були успішно апробовані в зоні проведення антитерористичної операції та отримали схвальні відгуки військовослужбовців. В результаті споживання даної продукції у 80 % особового складу військовослужбовців, що прийняли участь у її апробації, відзначалося значне поліпшення самопочуття,

зменшення втоми, підвищення працездатності, зниження задишки при фізичних навантаженнях. Встановлено, що при вживанні білково-вітамінного продукту спеціального споживання «VitaBar»: батончиків «Переможець» та «Военно-польовий», за рахунок збагачення організму повноцінними білками, незамінними амінокислотами, вітамінами-антиоксидантами, мінеральними речовинами захворюваність військовослужбовців знизилась майже в 1,2 рази.

Тому введення білково-вітамінного продукту спеціального споживання «VitaBar» батончиків: енергетичного з гемовим залізом «Переможець» та «Военно-польовий» дозволить збагатити добовий раціон військовослужбовців повноцінним білком, вітамінами, ненасиченими жирними кислотами мікро- та макроелементами.

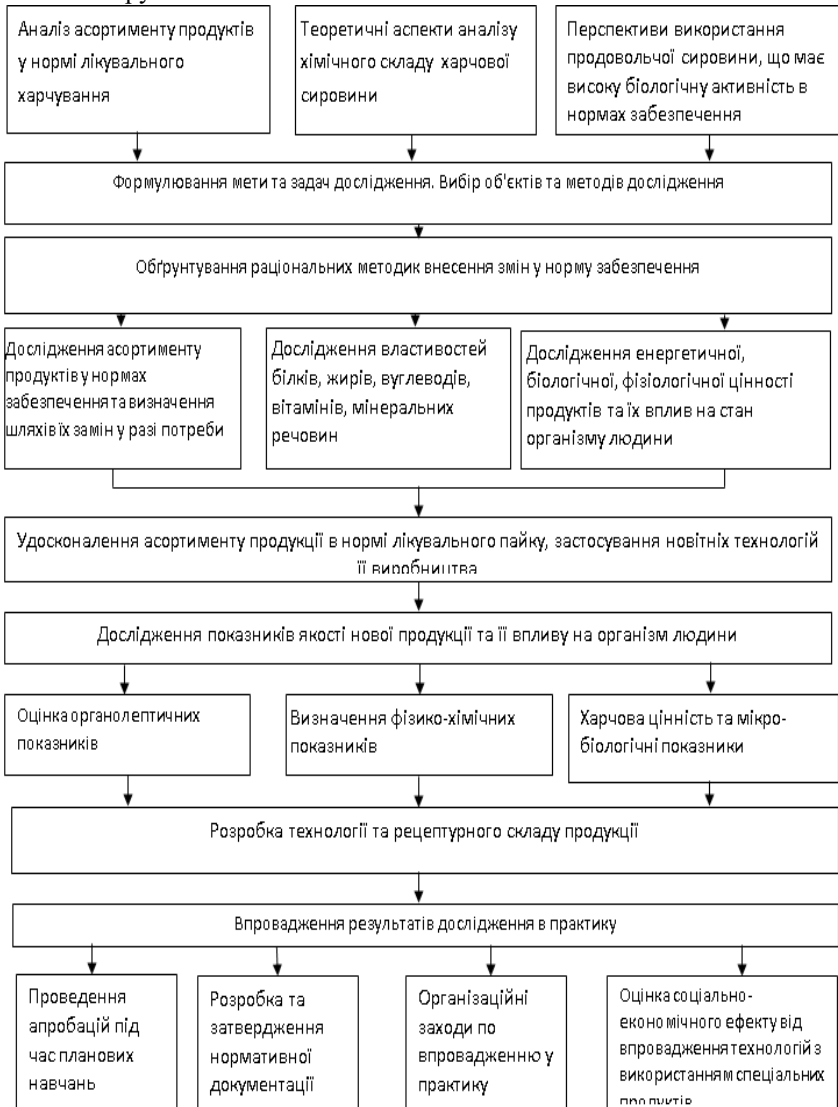
Нами запропоновано додавання 60 г нового білково-вітамінного продукту спеціального споживання «VitaBar» - батончику «Военно-польовий» у харчові раціони за нормами №№ 1,2,3,4,6 для відтворення найбільш адекватної енергетичної цінності та оптимального нутрієнтного складу.

До харчового раціону за нормами №№ 5,8 пропонуємо ввести білково-вітамінний продукт спеціального споживання «VitaBar» енергетичний батончик «Переможець» з гемовим залізом 30 г та дієтичну залізовмісну добавку «Нутрію-гем» у вигляді капсул «Феро-гем», що сприятиме скорішому одужанню хворих та поновленню крові донорів. Якраз підтримка нутрієнтів, спрямована на нормалізацію обмінних процесів і підвищення імунорезистентності організму, буде позитивно впливати на ефективність кваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги, сприятиме прискоренню відновлення порушених структур і функцій організму.

До харчового раціону за нормами №№ 10,15 нами запропоновано ввести білково-вітамінний продукт спеціального споживання «VitaBar» енергетичний батончик з гемовим залізом «Переможець» 30 г та «Военно-польовий» у чорному шоколаді (какао не менше 56 %) 40г.

Модель удосконалення та управління якістю харчування військовослужбовців приведена на рис. 3.1. Впровадження цієї моделі дозволить оптимізувати харчування військовослужбовців у відриві від пунктів постійної дислокації. Саме від адекватного забезпечення поживними речовинами в польових умовах залежатиме фізіологічний, психоемоційний стан особового складу, а значить і ефективність виконання службово-бойових завдань. Це буде сприяти покращенню загального стану здоров'я військовослужбовців, полегшить пристосування організму до великих фізичних навантажень, підтримувати працездат-

ність та емоційну стійкість, що допоможе відновлюватися після стресового напруження.



**Рис. 3.1. Модель удосконалення та управління якістю харчування військовослужбовців**

## Висновки

Встановлено, що фактичне харчування військовослужбовців за нутрієнтним складом та енергетичною цінністю не відповідає затверженому нормативному раціону і не задовольняє фізіологічні потреби молодих людей при адаптації до військової служби та в період лікування у медично-воєнних закладах. Обґрунтовано та визначено напрями корекції раціонів військовослужбовців строкової служби, запропоновано спосіб їх корекції шляхом додавання вітчизняного мінерально-білково-вітамінного комплексу спеціального споживання, що дозволяє усунути дефіцит життєво важливих нутрієнтів у раціоні, збалансувати їх співвідношення та забезпечити енергетичну повноцінність фактичного харчування.

## Список використаних джерел

1. Депутат Ю. М. Гігієнічне обґрунтування корекції загальновійськового добового раціону харчування військовослужбовців строкової служби Збройних Сил України : автореф. дис. канд. мед. наук : 14.02.01 / Депутат Юрій Михайлович. Київ, 2010. - 19 с.
2. Норми харчування військовослужбовців Збройних Сил та інших військових формувань, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 29 березня 2002 р. № 426 (Офіційний вісник України, 2002 р., № 14, ст. 739; 2013 р., № 100, ст. 3663)
3. Основи військової гігієни. Санітарний нагляд і медичний контроль за харчуванням військ // Медицина. Особиста гігієна. — 2013. — Режим доступу: <http://www.sitesforyou.tk/chastin.html>.
4. Полковник В. Русаков Коллективные и индивидуальные пайки военнослужащих ВС США // Зарубежное военное обозрение : журнал. — 2014. — №3. — С. 35.
5. Притульська Н.В. Товарознавчі засади позиціонування продуктів для ентерального харчування / Н. Притульська, Ю. Мотузка // Товари і ринки. — 2014. — №2. — С. 53-59.
6. Функциональные продукты: тенденции и перспективы. По материалам FoodNavigator.com // Продукты & ингредиенты. -2015.- № 3.-с. 8-9
7. Intelmeal. Пищевая ценность, химический состав и калорийность. [Електронний ресурс].- Електрон. дан.- Режим доступу: <http://www.intelmeal.ru>, вільний. Назва з екрану. - Мови: рос.
8. Nutrition Science and Food Standards for Military Operations (Nutrition et normes d'alimentation pour les opérations militaires). Final Report of RTO Task Group. [Electronic Resource]. — Mode of access : URL : [natorto.cbw.pl/uploads/2010/3/TR-HFM-154-ALL.pdf](http://natorto.cbw.pl/uploads/2010/3/TR-HFM-154-ALL.pdf).

9. Meydani, S.N. *Optimization of immune function in military personnel* /S.N. Meydani, F. Eksir // *Nutrient composition of rations for short-term, highintensity combat operations, National Academies, Washington.* - 2005. - N 9. - P.330-335.

10. Milman, N. *Anemia – still a major health problem in many parts of the world [Text]* /N. Milman // *Ann. Hematol.* – 2011. – Vol. 90. – P. 369–377.

11. Taylor, M.K. *Physical fitness influences stress reactions to extreme military training* / M.K. Taylor [et al.] // *Mil Med.* - 2008 - Vol. 173, N 8. - P. 738-742.

12. *The Market for Clinical Nutritional Products* / comp. J. Nicole // *Market Research.* 2010. Vol. 8. 108 p.

13. Товма Л.Ф., Крамаренко Д.П., Дейниченко Г.В. *Методика оптимізації складу трикомпонентної харчової системи з метою створення харчових продуктів для військовослужбовців [Текст]* / Л.Ф. Товма, Д.П. Крамаренко, Г.В. Дейниченко // *Бізнес-інформ.* – 2016. – № 1. – С. 175-178.

## Розділ 4/Chapter 4

### Визначення антиоксидантної ємності мармеладу желейно-фруктового та маршмелоу з дрібнодисперсними рослинними добавками

М.В. Артамонова, І.С. Пілюгіна,  
Н.В. Шматченко, С.М. Губський

### Antioxidant capacity determination of fruit jelly and marshmallow with plant additives

Maia Artamonova, Inna Piliugina\*,  
Natalia Shmatchenko, Sergey Gubsky

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The last decades are characterized by a persistent deterioration of health indicators, according to the WHO: the average life expectancy continues to decline, the incidence is increasing. Among the causes of morbidity and mortality in the leading position occupied by cardiovascular diseases and cancer, the development of which is related to nutrition. The level of breastfeeding reduced health outcomes and anthropometric characteristics of children, adolescents, and people's health deteriorating. On this basis, the basic requirements for dietary supplements must be effectiveness and safety. They need to normalize the physiological processes that underpin livelihoods and prevent the action of xenobiotics, the consequences of poor eating habits that inhibit the natural defense mechanisms of the human.

**Keywords:** *dietary supplements, antioxidant, plant, fruit jelly, marshmallow*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [inna.pilyugina@mail.ru](mailto:inna.pilyugina@mail.ru)

### Зміст

#### *Вступ*

*4.1. Обґрунтування вибору та аналіз хімічного складу сировини для отримання рослинних кріодобавок*

*4.2. Антиоксидантна ємність та методи її визначення*

*4.3. Вивчення антиоксидантних властивостей мармеладу желейно-фруктового з рослинними кріодобавками*

*4.4. Вивчення антиоксидантних властивостей маршмелоу з натуральними барвниками антоціанової природи*

*4.5. Дослідження антиоксидантних властивостей мармеладу желейно-фруктового та маршмелоу протягом гарантованого терміну зберігання*

#### *Висновки*

*Список використаних джерел*

### Вступ

Згідно результатів досліджень у галузі медицини, які проводились протягом останніх років, однією з основних причин зміни патологічних станів у людському організмі, які викликають розвиток багатьох хвороб і ведуть до передчасного старіння є надлишковий рівень вмісту вільних кисневих радикалів [1–3]. Наявність їх у міжклітинних та внутрішньоклітинних біологічних рідинах створює умови для розвитку оксидантного стресу. З біохімічної точки зору це виражається в тому, що вільні радикали окиснюють стінки судин, білки, ДНК, ліпіди. Радикали особливо активно взаємодіють з мембранними ліпідами, що містять ненасичені зв'язки, і змінюють властивості клітинних мембран [4].

Від впливу вільних радикалів здоровий організм захищає природна антиоксидантна система, яка містить ферментні та неферментні речовини, що здатні повністю нейтралізувати шкідливий вплив радикальних форм кисню.

Зниження активності природної антиоксидантної системи людини сьогодення пов'язано з багатьма несприятливими чинниками, серед яких:

- погіршення екологічної обстановки;
- широке поширення соціальних захворювань;

- постійні стреси; споживання забрудненої та неякісної їжі;
- неконтрольований прийом деяких лікарських препаратів.

Шкідливий вплив вільних радикалів (табл. 4.1.) можна зменшити за рахунок регулярного вживання натуральних харчових продуктів таких як фрукти, овочі, рослинна сировина тощо. Інше джерело антиоксидантів – це функціональні харчові продукти, створені з додаванням натуральних добавок.

Таблиця 4.1

**Радикальні форми кисню**

Формула	Назва	Походження
$^3\text{O}_2$	триплет кисню	стійкі види
$^1\text{O}_2$	атомарний кисень	збудження $^3\text{O}_2$
$\text{O}_2^\bullet$	супероксидний аніон-радикал	$\text{O}_2 + e^-$
$\text{HO}_2^\bullet$	гідропероксидний радикал	$\text{O}_2^\bullet + \text{H}^+$
$\text{HO}^\bullet$	гідроксильний радикал	$\text{H}_2\text{O}_2$
$\text{H}_2\text{O}_2$	гідроген пероксид	$\text{O}_2^\bullet$ ,
$\text{R}^\bullet$	алкільні радикали	$\text{RH}$
$\text{RO}^\bullet$	алкоксильні радикали	$\text{ROOR}, \text{ROOH}$
$\text{ROO}^\bullet$	пероксильні радикали	$\text{R}^\bullet + \text{O}_2, \text{ROOH}$
$\text{ROOH}$	алкільні гідропероксиди	$\text{ROO}^\bullet, ^1\text{O}_2$
$\text{ROOR}$	пероксиди	перекисне окиснення

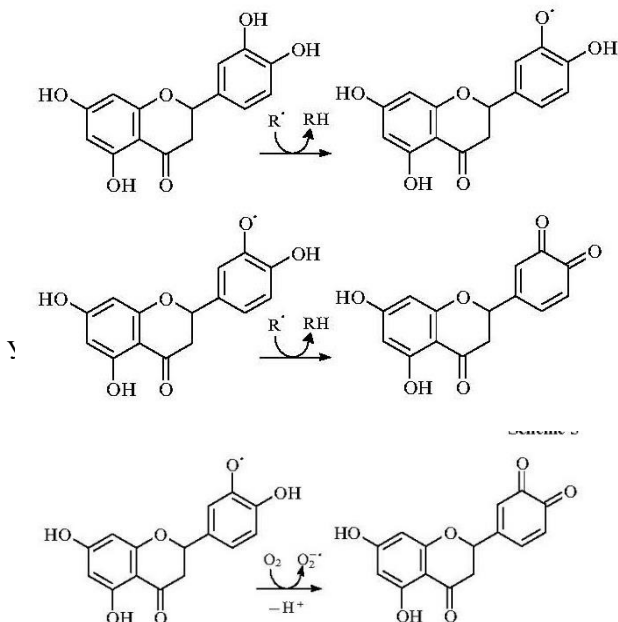
Благотворний вплив природних добавок на здоров'я людини обумовлений наявністю в них природних фенолів і поліфенолів, які здатні обривати ланцюгові вільно-радикальні реакції окиснення [5, 6]. Фенольні сполуки об'єднують декілька класів хімічних сполук, серед яких особливе місце займають флавоноїди – найважливіші природні антиоксиданти. Схема взаємодії останніх з радикалами приведена на рис.4.1.

Також слід зазначити, що синтез поліфінолів у живих організмах неможливий.

У рослинних оліях та жирах містяться в основному монофеноли, перш за все – токоферолі (вітамін Е). У фруктах, овочах, рослинній сировині найбільш типовими представниками антиоксидантів є водорозчинні поліфеноли. Виключне значення мають антоціани, оскільки вони легше проникають через клітинні мембрани. Слід підкрес-



лити, що антиоксидантну активність проявляють і сполуки, які відносяться до інших класів, зокрема каротиноїди, вітаміни.



**Рис. 4.1. Механізм взаємодії флавоноїдів з вільними радикалами кисню**

Виходячи з вищесказаного, одним із пріоритетних напрямків наукових розробок є забезпечення якості та поживності продуктів, а саме, створення функціональних продуктів як профілактичних засобів у програмах антиоксидантного захисту населення. З цієї точки зору, особливої уваги заслуговують дослідження спрямовані на вивчення властивостей антиоксидантів, їх якісне та кількісне визначення у харчовій продукції.

#### 4.1. Обґрунтування вибору та аналіз хімічного складу сировини для отримання рослинних криодобавок

Криодобавки – це пасти або порошки, які отримані за криогенними технологіями. Розмір частиць криодобавок становить 10-50 мкм.

Метод криогенного подрібнення рослинної сировини порівняно з «тепловим» має значні переваги, а саме: можливість збереження біологічно активних речовин, ароматичних речовин подрібнених харчових продуктів; збереження вихідних властивостей і більш повне їх розкриття при подрібненні; можливість подрібнення речовин, що не піддаються звичайним методам помола; можливість отримання високої однорідності помола; витрати енергії при помолі охолоджених охрупчених матеріалів, у кілька разів менше, ніж матеріалів, що мають температуру навколишнього середовища [7].

В дослідженнях для виготовлення криодобавок була обрана рослинна сировина, яка має цілющі властивості (антиоксидантні, імуномодельючі, гетеропротекторні, радіозахисні та ін..) та високий вміст біологічно активних речовин: яблука, айва, гарбуз, морква, виноград, шипшина, обліпиха, суданська троянда, чорноплідна горобина.

Яблуко (*Potum*) – багатосім'яний плід з тонкою шкіркою, та м'яккою серцевиною В промислових масштабах вирощується у Китаї, Америці, Ірані, Туреччині, Росії, Італії, Індії, Франції, Україні. Яблука багаті на поживні речовини, володіють дієтичними властивостями та наявністю пектину в яблуках робить їх продуктом із низьким глікемічним індексом. Також це один з легкозасвоюваних джерел заліза. Залежно від сорту і умов зростання свіжі плоди містять до 23 г/100 г цукрів, до 1,2 г/100 г пектинових речовин (з високою желуючою активністю), до 1,5 г/100г різних кислот, велику кількість вітамінів таких як С – близько 10 мг/100 г, В1 – 0,01...0,03 мг/100 г, В2 – 0,01...0,03 мг/100 г, Е – 0,2...0,6 мг/100 г та калію – майже 278 мг/100г [8].

Айва – ароматний фрукт із жовтою шкіркою, круглої або грушоподібної форми, в свіжому вигляді зазвичай твердий і кислий, але варений має м'яку рожеву солодкувату м'якоть з гранульованою текстурою, що нагадує варену грушу. Зростає айва в багатьох районах Європи, Кавказу, Середній Азії, Північній і Південній Африці, Північній і Південній Америці, Австралії. Плоди айви мають щільну м'якоть з високим вмістом пектинових речовин, та дещо підвищеною кількістю дубильних речовин, чим пояснюється терпкий смак свіжих плодів. Вміщені в айві ароматичні речовини добре зберігаються за всіма способами переробки плодів. Айва являється імуномодулятором та антидепресантом, допомагає впоратися зі стресом і при нервових перевантаженнях. Плоди айви містять солі калію, магнію, фосфору, цинку, міді, велику кількість заліза та пектинових речовин. Це хороший антиоксидант в складі якого є значна кількість вітамінів групи В, провітаміну А – близько 167 мкг/100г та вітаміну С – 23,0 мг/100г. Айва,

завдяки великій кількості харчових волокон, близько 3,6 г/100г, ефективно знижує рівень холестерину в організмі людини [8].

Гарбуз (*Cucurbita*) — родова назва однорічних і багаторічних рослин родини гарбузових з потужною кореневою системою. Форма плодів рослини і їх забарвлення залежать від сорту. Колір може бути білим, сірим, помаранчевим. М'якоть плоду жовто-гарячого кольору, середньої щільності, солодка, соковита. Вирощують понад 200 сортів, на території Росії, Мексики, США та інших країн. Плоди містять 15-18% сухої речовини, 8-10% цукрів, мінеральні солі, а також вітаміни С - близько 8,5 мг/100г, В1 – 0,05 мг/100г, В2 – 0,06 мг/100г, та каротин - близько 14,0 мг/100г [8, 9].

Морква – помаранчевий коренеплід, містить до 15% цукру, вітаміни: С – близько 5,0 мг/100г, Е – 0,6 мг/100г, РР – 1,0 мг/100г, групи В, значну кількість каротину майже 9,0 мг/100г – корисної речовини, яка має здатність у людському організмі перетворюватися на вітамін А. Морква багата на залізо, калій, фосфор, мідь, кобальт, магній, цинк, йод, хром, фтор, нікель та ін. Вона також містить ферменти, амінокислоти, органічні кислоти, що регулюють в організмі обмінні процеси і підвищують захисні функції організму. Коренеплоди моркви здавна застосовуються як полівітамінний та загально-зміцнюючий засіб при захворюваннях серцево-судинної системи, хворобах шлунково-кишкового тракту, при розладах зору. [8].

Виноград — кулясті або овальні ягоди, які ростуть в досить щільних гронах. У різних сортів винограду забарвлення плодів має жовтуваті, зелені, червоні, темно-сині, фіолетові або чорні відтінки. Виноград зростає в помірних і субтропічних регіонах, широко культивується в багатьох країнах всіх континентів. відрізняється значною кількістю антиоксидантів і антоціанів. Найвища концентрація антиоксидантів виявлена в кісточках винограду і його шкірочці. Поліфеноли, катехіни, флавоноїди, що входять до складу винограду можуть сприяти очищенню організму від токсинів, шлаків, приводити в норму тонус організму. В шкірці винограду червоних сортів міститься речовина ревератрол — карболова кислота, яка бореться з раковими клітинами. У ягодах винограду міститься до 30% цукрів (глюкоза і фруктоза), органічні кислоти (переважно винна, а також яблучна і сліди шавлевої і саліцилової) – близько 0,85 %, пектинові речовини – 0,6 г/100г, вітаміни В1 та В2 – 20...50 мкг/100г, РР – близько 0,3 мг/100г, С – майже 6,0 мг/100г. У шкірці ягід містяться дубильні і ароматичні речовини, а в червоних сортах - пігмент Енін [8].

Шипшина – дикорослий чагарник роду *Rosa L.* (грец. *rhodon* - троянда) родини розових (*Rosaceae*). Поширені майже всюди у

Північний півкулі, переважно в помірних і субтропічних широтах, рідше — у тропіках (лише в гірських районах). Являє собою червоні або помаранчеві невеликі плоди, які являються природним полівітамінним концентратом. Плоди шипшини характеризуються значним вмістом вітаміну С – 650...1000 мг/100г, також шипшина містить значну кількість провітаміну А – близько 434 мкг/100г та вітамінів РР – 0,6...0,7 мг/100г, В1 – близько 0,05 мг/100г, В2 – 0,13 мг/100г, що грають важливу роль в регуляції функції нервової системи. В шипшині містяться мінеральні елементи – калій, фосфор, залізо, магній, мідь, марганець, кремній, йод, а також органічні кислоти – близько 1,3%, пектинові речовини – більше 3%, дубильні і барвні речовини – понад 4,7% [8].

Обліпіха – ягода яскраво-помаранчевого кольору, кулястої або частіше витягнутої форми. У природі лікарська рослина обліпіха зустрічається у вигляді чагарників або невеликих дерев. Зростає в Сибіру, Далекому Сході, Середній Азії, на Кавказі, Україні та ін... М'якуш плодів обліпіхи містить жирну олію (від 1,7 до 10%, найчастіше 3-4,5%), вітаміну С – 8,6...272 мг/100г, каротину — 0,9...10,9 мг/100г, вітаміну В<sub>1</sub> — 0,016...0,035 мг/100г, рибофлавіну - 0,038...0,056 мг/100г. Також плоди обліпіхи містять аскорбінову та фолієву кислоти, токофероли, органічні кислоти (яблучна, винна, щавлева, янтарна) та ще значну кількість інших корисних речовин [8].

Суданська троянда (каркаде, *Hibiscus sabdariffa*) – однорічна травяниста рослина родини Мальвові, походить із Індії, вирощується в тропічних регіонах всього світу. В промислових масштабах вирощується у Судані, Єгипті, Індії, Китаї, Шрі-Ланка, острові Ява, Таїланді, Мексиці. Суданська троянда цвіте великими червоними махровими і напівмахровими квітами з п'ятьма пелюстками. Під гарними яскравими квітами знаходяться темно-червоні чашечки. Аналіз літературних даних свідчить, що свіжі пелюстки суданської троянди містять 30...50 % органічних кислот (гібіскусова, яблучна, аскорбінова, винна, лимонна, фенолкарбонові кислоти та ін.), 4,0...4,5 % флаваноїдів (кверцетин, мирицетин, гібісцетин, гібісцетрін, гіссіпетин, антоціанин, глюкозид гібісцетин, глюкозид дельфінідіна, глюкозид ціанідину), 8% полісахаридів (пектин, геміцелюлоза та ін.), 7,0...9,5 % білків, макро- і мікроелементи (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Se) [10].

Горобина чорноплідна (аронія чорноплідна, *Aronia melanocarpa*) – багаторічний чагарник, вид роду Аронія сімейства Рожеві, походить зі східної частини Північної Америки, вирощується в Україні, странах ближнього та далекого зарубіжжя. В промислових масштабах вирощується у США, Канаді, Росії. Горобина чорноплідна – кущ висотою до

1,5...2,5 м, Плоди шароподібні діаметром 0,8...1 см чорного кольору з сизим нальотом. Ягоди соковиті, кислувато-солодкі, з вжучим і терпким смаком. Ягоди чорноплідної горобини містять 6,6...12,8 % вуглеводів (глюкоза, рамноза, фруктоза, сахароза, олігосахариди, клітковина), 0,7...7,9% органічних кислот (яблучна, хінна, янтарна, лимонна), 0,21...0,35% азотних речовин, 1,0...7,0 % флавоноїдів, 1,4...1,7 % пектинових речовин. Вміст вітаміну С становить 9,0...264,0 мг/100 г, вітаміну Р – 1200...4977 мг/100 г, вітаміну В<sub>2</sub> – 100...113 мг/100 г, каротину – 0,5...7,0 мг/100 г. Кількість мінеральних речовин в ягодах чорноплідної горобини становить до 0,45% загальної маси. У ній міститься 78...92 мг/100 г F, 4...8мг/100 г Fe, 0,3...0,8 мг/100 г Cu, 2,6 мг/100 г Mn, 0,06 мг/100 г Co, 0,01 мг/100 г I [11].

Кріопасті з айви, яблук, моркви, гарбуза та винограду були виготовлені за технологією, що передбачала кріогенне заморожування сировини за температури -35...-70°C до частинок розміром 10...50 мкм без використання хімічних стабілізаторів та її подальше низькотемпературне подрібнення [7, 12].

Кріопорошки з винограду, шипшини, обліпихи виготовлено у промислових умовах (ЗАО «Кріокон» м. Київ). Технологія їх отримання складається з трьох етапів. На першому етапі проводиться кріогенне подрібнення сировини в парах рідкого азоту за температури -80 ... -150 ° С до частинок розміром від 2-3 мм до 10-20 мкм в залежності від виду сировини. Кріоподрібнення, не змінюючи біологічних властивостей сировини, різко збільшує питому поверхню фракцій, що переробляються і підвищує ефективність подальших етапів переробки: кріосублімаційного фракціонування і низькотемпературної екстракції. Другий етап - кріосублімаційне фракціонування. Третій етап – з сухих дрібнодисперсних фракцій, які залишаються в сублімаційній камері, методом низькотемпературної екстракції зрідженими газами витягуються масла [13].

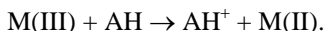
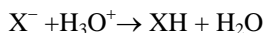
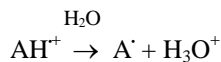
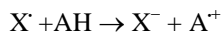
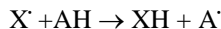
Кріас-порошки із чорноплідної горобини, суданської троянди отримано в промислових умовах (ПП «НВП Кріас Плюс» м. Харків) за принципом кріомеханічної активації сировини, яка передбачає заморожування за температури (-35° С) без використання хімічних стабілізаторів, що дозволяє зберігати структуру тканин свіжого продукту. Додатки, одержані за низькотемпературною технологією – це порошки з дисперсністю 10...30 мкм і вологістю 4...8% [14]. У роботі [15] показано перспективність використання кріас-порошку з чорноплідної горобини під час виробництва мармеладу желейного для підвищення його якості та біологічної цінності, отримання натурального кольору виробів, а також виключення з рецептури синтетичних барвників та ароматизаторів.

Зазначені вище кріодобавки було запропоновано для використання в технологіях мармеладно-пастильних виробів для підвищення харчової та біологічної цінності, надання кольору, смаку [16].

#### 4.2. Антиоксидантна ємність та методи її визначення

Розуміння ролі антиоксидантів різної природи та їх вкладів у загальний ефект є непростим завданням через складність рослинних добавок. Це пов'язано з наявністю в них декілька сотень хімічних сполук різної природи, а також необхідністю відокремлення дії кожного антиоксиданту, вивчення їх синергетичної дії. Тому для оцінки антиоксидантних властивостей виправдане використання сумарного кількісного параметру – інтегральної антиоксидантної ємності (АОЄ), що визначає інтегральну здатність речовин бути інгібіторами процесів окиснення харчових складових [17]. Для харчових продуктів в цілому АОЄ є одним з показників, що визначають їх біологічну цінність та якість в цілому.

У літературних джерелах присутня деяка невизначеність щодо до використання термінів «антиоксидантна ємність» або «антиоксидантна активність» [18]. Справа в тому, що для кількісної оцінки антиоксидантної ємності в умовах *in vitro* різні автори застосовують різні індикаторні системи, використовують різнотипні і нестандартизовані методики, нерідко погано відтворювані, тривалі і трудомісткі. Механізми взаємодії індикаторних систем з антиоксидантами також різні: з переносом атому гідрогену (*Hydrogen Atom Transfer*– HAT) або переносом електрону (*Single Electron Transfer* SET) [19, 20]:



У табл. 4.2 наведено характеристику основних методів визначення АОЄ, які базуються на розглянутих механізмах HAT і SET. Вони відрізняються різними хімічними речовинами-замінниками радикалів у

реакціях *in situ*, що моделюють взаємодію антиоксидантів із радикалами *in vivo*. Інша відмінність – це експериментальна величина, яка є кількісною мірою антиоксидантної активності. В одній групі методів це час, що відповідає затримці в окисненні досліджуваної системи, в іншій – здатність до відновлення радикалів, що виражається величиною концентрації антиоксиданта, прийнятого за стандарт (наприклад, галової кислоти, аскорбінової кислоти, тролокс).

Таблиця 4.2

**Методи дослідження антиоксидантної ємності**

Метод	Механізм	Кількісна характеристика	Фізико-хімічний метод
ORAC	HAT	час інгібування реакції окиснення	FLU
ABTS	HAT		VIS
TRAP	HAT		FLU
FRAP	SET	здатність до відновлення катіону	VIS
CUPRAC	SET		VIS
TEAC	SET	час інгібування реакції окиснення	VIS
DPPH	SET	здатність до відновлення радикалу	VIS
TOSC	HAT	час інгібування реакції окиснення	VIS
LDL	HAT		UV
DMPD	SET	здатність до відновлення радикалу	VIS
PLC (PHOTOCHEM)	SET	час інгібування реакції окиснення	LUM

Аналітичні сигнали, що формуються при цьому, характеризуються різною природою, а одержувані результати мають неоднакові розмірності, що ускладнює їх зіставлення. Крім того, не зрозумілий внесок окремих груп відновників у сумарний показник антиоксидант-

ної ємності. Вказані фактори є рушійною силою до пошуку стандартизованого методу оцінки АОЄ [20].

Здатність до захоплення вільних радикалів поліфенолами та іншими антиоксидантами може вимірюватися величиною окиснення цих сполук модельними окисниками, тобто електрохімічне окиснення може бути використано при вимірюванні інтенсивності поглинання вільних радикалів. Саме цей підхід пояснює значну увагу дослідників щодо використання електрохімічних методів. Аналіз літературних джерел свідчить про можливість використання для визначення АОЄ потенціометрії [21], різноманітних технік вольтамперометрії [22, 23], кулонометрії [24, 25], інші [26].

Серед електрохімічних методів слід відзначити метод гальваностатичної кулонометрії. Згідно аналізу літературних джерел перспективним способом визначення інтегральної антиоксидантної ємності харчових систем є спосіб, який заснований на використанні електрогенерованих титрантів, зокрема бромю [24, 25]. Це значною мірою пов'язано з механізмом передачі електронів у водному середовищі при взаємодії активних кисневмісних сполук, як основного процесу, що визначає антиоксидантну ємність. Наприклад, окиснення поліфенолів під час кулонометричного титрування відбувається за схемою [27] (рис. 4.2).

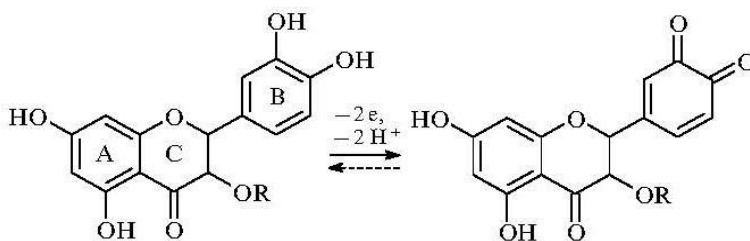


Рис. 4.2. Схема окиснення флавоноїдів

Науковим підґрунтям такого підходу є те, що зазначені титранти стехіометрично взаємодіють з основними речовинами-антиоксидантами (табл. 4.3) [25].

Слід також зазначити, що в останні роки були отримані експериментальні дані, які засвідчують про кореляцію результатів вивчення антиоксидантної активності методами DPPH та кулонометричного титрування з електрогенерованим бромом для де-яких продуктів харчування [25].



**Стехіометрія взаємодії деяких поліфенолів та аскорбінової кислоти з електрогенованими титрантами [25]**

Назва сполуки	Кількість електронів в реакції окислення			
	Cl <sub>2</sub>	Br <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>3-</sup>
Рутин	10	8	–	4
Кверцетин	12	10	–	5
Дигідрокверцетин	14	12	–	5
Аскорбінова кислота	2	2	2	2

Таким чином, використання отриманого шляхом електролізу броду для кількісних визначень є достатньо реальним підходом. Кількісний показник, який отримують під час визначень позначають як «бромна» АОЄ – величина, яка характеризує сумарну кількість антиоксидантів у харчових системах і розраховують за формулою:

$$АОЄ = \frac{100 \cdot I \cdot t \cdot m_e}{m_a \cdot m} \quad (4.1)$$

де  $I$  – сила струму, А;  $t$  – час досягнення кінцевої точки титрування, с;  $m$  – маса зразку, яку було взято для аналізу, г;  $m_e$  – маса екстракту, г;  $m_a$  – маса аліквоти, що використовувалась для аналізу, г.

**4.3. Вивчення антиоксидантних властивостей мармеладу желейно-фруктового з рослинними кріодобавками**

Мармелад желейно-фруктовий (МЖФ) з рослинними кріодобавками (кріопасті з моркви, гарбуза айви, яблук, винограду та кріопорошки з обліпихи, винограду, шипшини) виготовляли згідно [29] (рис. 4.3).

Досліджено антиоксидантні властивості рослинних кріопаст та кріопорошків, які використовували для виготовлення зразків мармеладу [30]. Результати визначення антиоксидантної ємності кріодобавок наведено в табл. 4.4.

### Визначення антиоксидантної ємності мармеладу ...



**Рис. 4.3.** Фотографічне зображення зразків мармеладу желеино-фруктового з крипастою з моркви (а), айви (б), винограду (в)

Таблиця 4.4

**Результати визначення антиоксидантної ємності рослинних кридобавок ( $n = 5, P = 0,95$ )**

№	Зразки	АОЄ, мг ААЕ/ 100 г	$S_r$
1	Кріопаста з гарбуза	15±2	0,25
2	Кріопаста з моркви	28±3	0,17
3	Кріопаста з айви	152±9	0,09
4	Кріопаста з яблук	224±14	0,10
5	Кріопаста з винограду	501±25	0,04
6	Кріопорошок з винограду	604±16	0,02
7	Кріопорошок з обліпихи	3541±78	0,18
8	Кріопорошок з шипшини	4005±40	0,06

Приведені значення АОЄ перераховані з використанням умовної шкали концентрацій з референтною речовиною – аскорбінова кислота (ААЕ), яка є загальновідомим антиоксидантом. Величини АОЄ в аскорбіновому еквіваленті (мг ААЕ/ 100 г зразка) розраховують за формулою:

$$АОЄ = \frac{Q}{Q_{AA}}, \quad (4.2)$$

де  $Q$  та  $Q_{AA}$  – кількість електрики, необхідної для окиснення одиниці маси зразка та аскорбінової кислоти відповідно. Для перерахунку по

формулі (2) використовують експериментальну залежність  $Q_{AA}$  від концентрації розчину аскорбінової кислоти, отриману в [31]. Вказана залежність є лінійною з коефіцієнтом кореляції 0,999 та нахилом, що з похибкою 0,18% відтворює теоретичний нахил, який може бути розрахований з рівняння Фарадея. Застосування експериментально отриманих величин замість теоретичних є більш послідовним підходом, який ураховує всі похибки отримання досліджуваної величини на певній експериментальній установці.

Як видно з таблиці антиоксидантна ємність кріопаст із гарбуза та моркви найменша серед інших кріопаст, що досліджувалися. Це пояснюється тим, що метод дозволяє визначити антиоксидантну ємність, обумовлену наявністю тільки водорозчинних антиоксидантів. АОЄ кріопасті з винограду має найбільшу величину. Це пояснюється високим вмістом антоціанових речовин та вітаміну С. Для кріопорошків АОЄ збільшується в ряду: виноград < обліпіха < шипшина. Основний вклад в АОА кріопорошку з винограду дають антоціани, для обліпіхи і шипшини – вітамін С.

Визначені ТАС для 13 зразків МЖФ з різною кількістю введених кріопаст (10 %, 20 %), кріопорошків (1,5 %) та їх комбінації представлені в табл. 4.5 [30].

Згідно отриманих даних, при внесенні до технології мармеладу кріодобавок, його АОЄ значно підвищується. Так, АОЄ мармеладу з додаванням кріопаст із моркви або гарбуза підвищується у 2,8 рази., а додаткове введення до даних видів мармеладу кріопорошку з обліпіхи у кількості 1,5% від загальної маси системи дозволяє одержати виробу з достатньо вираженими антиоксидантними властивостями. АОЄ виробів збільшується майже у 10 разів. Також під час введення до складу виробів кріопаст із айви або яблук у поєднанні з кріопорошком із шипшини, АОЄ виробів збільшується майже у 2,6...3,8 рази.

АОЄ мармеладу з кріопастою з винограду становить 66,2 мг АОЄ/100 г., а додаткове введення до рецептури 1,5% кріопорошку з винограду від загальної маси системи дозволяє збільшити АОЄ виробів до 89,4 мг АОЄ/100 г, тобто на 35%.

Ретроспективний погляд на отримані величини АОЄ для зразків мармеладу дозволяє прогнозувати наступний факт. Зміна величин АОЄ подібна до зміни розглянутих вище кріопаст та кріопорошків в розрізі використаних рослинних компонентів. Це може свідчити про домінування величини АОЄ рослинної добавки в АОЄ кінцевого продукту.

Таблиця 4.5

**Результати визначення антиоксидантної ємності мармеладу  
желейно-фруктового з рослинними кріодобавками (n=5, P=0,95)**

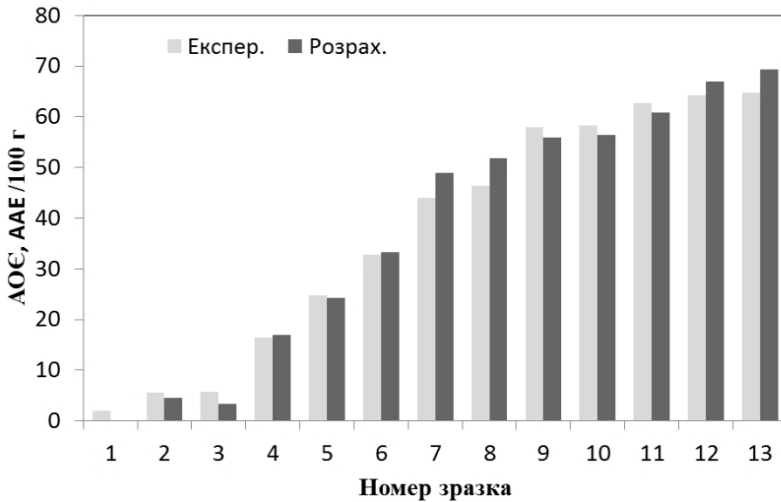
№	Зразки	АОЄ, мг АКЕ/ 100 г	S <sub>r</sub>
1	Мармелад без добавок (основа)	2,0 ± 0,5	0,17
2	Мармелад з кріопастою з моркви	5,6 ± 0,7	0,07
3	Мармелад з кріопастою з гарбуза	5,7 ± 1,1	0,27
4	Мармелад з кріопастою з айви	16 ± 2	0,25
5	Мармелад з кріопастою з яблук	25 ± 1	0,01
6	Мармелад з кріопастами з айви та гарбуза	33 ± 3	0,14
7	Мармелад з кріопастами з яблук та моркви	44 ± 4	0,25
8	Мармелад з кріопастою з винограду	46 ± 1	0,01
9	Мармелад з кріопастою з моркви та кріо- порошком з обліпіхи	58 ± 1	0,08
10	Мармелад з кріопастою з гарбуза та кріо- порошком з обліпіхи	58 ± 2	0,04
11	Мармелад з кріопастою та кріопорошком з винограду	63 ± 2	0,03
12	Мармелад з кріопастою з айви та кріопо- рошком з шипшини	64 ± 1	0,01
13	Мармелад з кріопастою з яблук та кріопо- рошком з шипшини	65 ± 1	0,01

Для підтвердження цієї гіпотези була розглянута адитивна схема розрахунку АОЄ зразків, згідно якої зазначену величину можна представити в виді суми двох вкладів: антиоксидантної ємності продукту без добавки (так званої основи) та рослинної добавки. Це відповідає виразу:

$$AOE(M) = \frac{m_d}{m_M} AOE(d) + \frac{m_o}{m_M} AOE(o), \quad (4.3)$$

де АОЄ(м), АОЄ(д), АОЄ(о) – антиоксидантна ємність МЖФ або маршмелоу, рослинної добавки та основи, відповідно;  $m_d$ ,  $m_o$ ,  $m_m$  – маси рослинної добавки, основи та маршмелоу, відповідно.

Виходячи з рецептури виготовлення досліджуваних кондитерських виробів та визначених вище величин АОЄ рослинних добавок та основи, були розраховані величини АОЄ(м) згідно рівняння 4.3. На рис. 4.4 приведені розраховані величини АОЄ(м) в порівнянні з експериментальними величинами.



**Рис. 4.4. Порівняння розрахованих та експериментальних величин АОЄ мармеладу з кріопастою: 1 – без добавок, 2 – з моркви, 3 – з гарбуза, 4 – з айви, 5 – з яблук, 6 – з винограду, 7 – з айви та гарбуза, 8 – з яблук та моркви; мармелад з кріопастою та кріопорошком: 9 – з моркви та обліпихи; 10 – з гарбуза та обліпихи, 11 – з винограду, 12 – з айви та шипшини, 13 – з яблук та шипшини**

Як свідчать дані рис. 4.4, отримані розрахункові значення в межах 25 % збігаються з експериментальними величинами, точно передаючи тенденцію зміни антиоксидантної ємності в ряду зразків при зміні добавки. Цей факт свідчить, по-перше, про справедливість згаданої вище гіпотези про те, що саме вклад антиоксидантної ємності кріодобавки в загальну величину антиоксидантної ємності мармеладу є домінуючим, коливаючись від 75 до 98 %. По-друге, про значну стійкість і відтворюваність антиоксидантних властивостей кріодобавок в

готовому продукті, незважаючи на достатньо «жорсткі» умови температурних режимів в технологіях виготовлення зазначених кондитерських виробів, що можуть призвести до втрати деяких антиоксидантів рослинних добавок. Слід зауважити, що отримані результати є певною мірою слідством новачії, що було впроваджена під час виготовлення мармеладу [29]. З метою збереження максимальної кількості антиоксидантів було запропоновано під час виготовлення мармеладу вносити кріопасту у концентрації 10...20 % на стадії приготування мармеладної маси після уварювання пектин-цукрово-патокового сиропу та кріопорошки у концентрації 1,5 % на стадії оброблення мармеладної маси. Технологія приготування маршмелоу передбачає внесення екстрактів кріопорошків на стадії збивання. І, по-третє, розроблення бази даних з ТАС кріодобавок з різної рослинної сировини дає змогу прогнозувати створення мармеладу желейно-фруктового та маршмелоу як функціональних продуктів з заданою величиною ТАС шляхом проведення оптимізації рецептурної кількості рослинних добавок.

#### **4.4. Вивчення антиоксидантних властивостей маршмелоу з натуральними барвниками антоціанової природи**

Маршмелоу з натуральними барвниками антоціанової природи (кріас-порошок з суданської троянди, кріас-порошок з чорноплідної горобини) (рис. 4.5) виготовляли згідно [29].



*a*



*б*

**Рис. 4.5. Фотографічне зображення маршмелоу з водно-спиртовим екстрактом кріас-порошку з суданської троянди (а) та з водно-спиртовим екстрактом кріас-порошку з чорноплідної горобини (б)**

Досліджували 6 зразків маршмелоу: на желатині з додаванням водного або водно-спиртового екстракту кріас-порошку (ЕКП) з су-

данської троянди (СТ) або водно-спиртового екстракту кріас-порошку з чорноплідної горобини (ЧГ); на желатині з солюбілізованими речовинами з додаванням водного або водно-спиртового екстракту кріас-порошку з суданської троянди або водно-спиртового екстракту кріас-порошку з чорноплідної горобини у кількості 3...10% від загальної маси системи.

У результаті досліджень було визначено величини АОС для кріас-порошків з суданської троянди та чорноплідної горобини та їх екстрактів [30]. Отримані величини в аскорбіновому еквіваленті мали наступні значення: для кріас-порошків з суданської троянди та чорноплідної горобини – 2109 та 1092 мг ААЕ/100 г відповідно; для водно-спиртових екстрактів кріас-порошків з додаванням 1% лимонної кислоти – 229 та 256 мг ААЕ/100 г відповідно, для водного екстракту кріас-порошку з суданської троянди з додаванням 1% лимонної кислоти – 229 мг ААЕ/100 г.

Введення екстрактів рослинних кріодобавок до складу маршмелю дозволило одержати вироби з наступними величинами АОС (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

**Результати визначення антиоксидантної ємності  
свіжовиготовленого маршмелю з натуральними барвниками  
антоціанової природи (n=5, P=0,95)**

Маршмелю			АОС, мг ААЕ/ 100 г	S <sub>r</sub>
Тип добавки	Тип екстракту	Тип структуроутворювача		
без добавок (контроль)		желатин	14,4 ± 2,9	0,10
суданська троянда	водний	желатин	24,7 ± 18	0,03
		желатин з солюбілізованими речовинами	26,6 ± 2,1	0,05
	водно-спиртовий	желатин	33,1 ± 2,5	0,07
		желатин з солюбілізованими речовинами	29,4 ± 3,6	0,08
чорноплідна горобина	водно-спиртовий	желатин	34,6 ± 5,5	0,11
		желатин з солюбілізованими речовинами	33,6 ± 1,5	0,04

Як видно з табл. 4.6., додавання екстрактів кріас-порошків з суданської троянди та чорноплідної горобини дозволило значно підвищити антиоксидантні властивості готового продукту. Про це свідчить зростання величини АОЕ для всіх розроблених зразків в 2...2,5 рази в порівнянні з контрольним зразком, який не містить зазначених екстрактів кріас-порошків.

Для маршмелу АОЕ збільшується в ряду: маршмелу з водним екстрактом кріас-порошку з суданської троянди < маршмелу з водно-спиртовим екстрактом кріас-порошку з суданської троянди < маршмелу з водно-спиртовим екстрактом кріас-порошку з чорноплідної горобини від 24,7 до 34,6 мг ААЕ/100 г маршмелу.

### 4.5. Дослідження антиоксидантних властивостей мармеладу желеино-фруктового та маршмелу протягом гарантованого терміну зберігання

Термін зберігання є однією з основних характеристик, що визначає конкурентоспроможність будь-якого продукту на ринку. Під час зберігання МЖФ у результаті фізико-хімічних і мікробіологічних процесів можуть змінюватись їх показники якості. Зниження споживчих властивостей безпосередньо пов'язане з таким процесом як дифузія вологи, а також з різноманітними хімічними перетвореннями – гідролізом вуглеводів, окисно-відновними реакціями складових сполук маршмелу, конденсацією, полімеризацією продуктів реверсії. При цьому характер та інтенсивність їх перебігу залежить від таких факторів, як рецептурний склад, технологія одержання, умови зберігання та спосіб пакування.

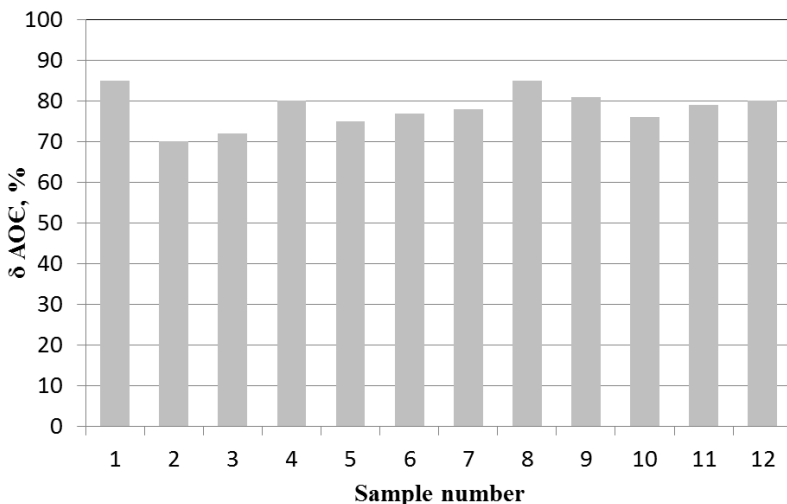
Згідно нормативної документації мармеладно-пастильні виробу з дрібнодисперсними рослинними добавками зберігають у сухих, чистих, добре вентиляваних складах за температури повітря від 15 до 18°C і відносної вологості повітря не більше 75 %. Не дозволено зберігати мармеладно-пастильні виробу з рослинними добавками разом з продуктами, що мають специфічний запах. Мармеладно-пастильні виробу з рослинними добавками не повинні зазнавати впливу прямих сонячних променів.

У разі дотримання умов зберігання й транспортування, термін придатності до споживання мармеладно-пастильних виробів з дрібнодисперсними рослинними добавками з дня виготовлення повинен складати 3 місяці для мармеладу желеино-фруктового та 1 місяць для маршмелу.



На наступному етапі було визначено антиоксидантну ємність мармеладно-пастильних виробів з дрібнодисперсними рослинним добавками наприкінці гарантованого терміну зберігання. Величина АОЄ дає інформацію про антиоксидантний потенціал хімічних сполук складної харчової системи відносно її можливості інгібувати процеси окиснення. Останні є важливими в тестуванні якості розроблених харчових продуктів при збереженні в часі та різних умовах зберігання.

На рис.4.6 наведені експериментальні дані про зміну АОЄ мармеладу з кріодобавками протягом терміну зберігання. Для порівняльного аналізу АОЄ свіжовиготовлених зразків маршмелоу було прийнято за 100%. Як видно з рис. 4.6 величина АОЄ зменшується для всіх зразків на від 15 до 30% в залежності від виду рослинної добавки.



**Рис. 4.6.** Зміна АОЄ зразків мармеладу на протязі терміну зберігання: 1 – з моркви, 2 – з гарбуза, 3 – з айви, 4 – з яблука, 5 – з винограду, 6 – з айви та гарбуза, 7 – з яблука та моркви; мармелад з кріопастою та кріопорошком: 8 – з моркви та обліпихи; 9 – з гарбуза та обліпихи, 10 – з винограду, 11 – з айви та шипшини, 12 – з яблука та шипшини

Для визначення впливу способів та терміну зберігання на антиоксидантні властивості зразків маршмелоу визначали їх антиоксидантну ємність протягом усього терміну зберігання, а саме – 1 місяць з дня виготовлення.

Маршмелоу з натуральними барвниками антоціанової природи зберігали за температури 15...18 °С, відносній вологості не більше 75%, розфасованим згідно з чинними вимогами у поліетиленову плівку або поліетиленову плівку і коробку з гофрованого картону, призначеного для кондитерських виробів по 150 г протягом 30 діб. Для коректного порівняння величини АОЄ, отримані з експерименту при певній вологості зразка перераховують на масу сухого зразка з урахуванням масової частки води на початку та наприкінці терміну зберігання, припускаючи допущення про лінійність зміни антиоксидантної ємності зі зміною вологості зразку. Виходячи з цих положень, величину антиоксидантної ємності сухого зразка (мг ААЕ/100 г сухого зразка) розраховують за формулою:

$$АОЄ_c = АОЄ \frac{100}{100 - W}, \quad (4.4)$$

де АОЄ – антиоксидантна ємність зразка після приготування; W – масова частка вологи у зразку після приготування, %. Величини W були визначені експериментально.

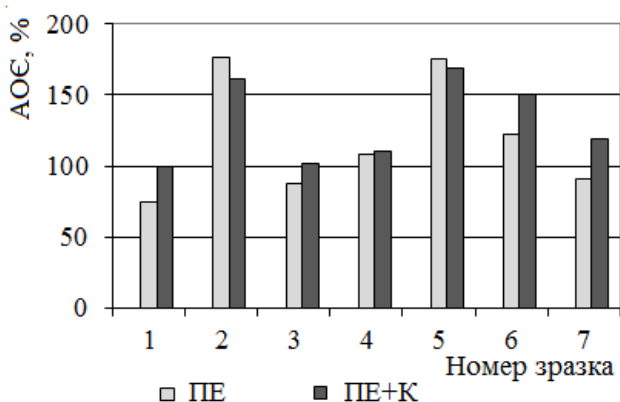
Результати визначення АОЄ зразків маршмелоу після зберігання протягом 30 діб у різних видах пакування наведено на рисунку 4.7. Для порівняльного аналізу АОЄ<sub>c</sub> свіжовиготовлених зразків маршмелоу було прийнято за 100%.

Згідно одержаних даних найбільш стабільними з точки зору антиоксидантних властивостей є маршмелоу з водно-спиртовими екстрактами кріас-порошків з СТ та ЧГ. Зміни антиоксидантної ємності цих зразків не перевищували 10% не залежно від виду пакування. Для маршмелоу на желатині з солюбілізованими речовинами зміни АОЄ були більш помітними і складала до 50%.

Характерною особливістю є те, що для зразків маршмелоу з водно-спиртовими екстрактами кріас-порошків упакованих у поліетилен та картон значення антиоксидантної ємності збільшувались порівняно зі зразками, упакованими тільки у поліетилен. Збільшення антиоксидантної ємності свідчить про перебіг окисно-відновних реакцій між хімічними речовинами складної харчової матриці: природними антиоксидантами з фотохімічними властивостями, харчовими компонентами, атмосферним киснем та Maillard reaction продуктами. Аналіз літературних джерел показав, що аналогічні результати були отримані для фруктових та овочевих соків [33–35], екстрактів [36].

Таким чином, досліджені зразки маршмелоу є виробами з високим антиоксидантним потенціалом. Незалежно від виду пакування антиоксидантні властивості маршмелоу з водно-спиртовими екстрак-

тами кріас-порошків із суданської троянди та чорноплідної горобини залишаються стабільними протягом гарантованого терміну зберігання – 1 місяць.



**Рис. 4.7. Антиоксидантна ємність АОЕ зразків маршмелову на желатині (1-4) або на желатині з солюбілізованими речовинами (5-7) через 30 днів зберігання в поліетиленовій плівці (PE) або у поліетиленовій плівці та картонній коробці (PE+K):**  
 1 – без добавок (контроль); 2, 5 – з водним ЕКП з СТ;  
 3, 6 – з водно-спиртовим ЕКП з СТ; 4, 7 – з водно-спиртовим ЕКП з ЧГ

Розроблені види мармеладу желейно-фруктового з рослинними кріодобавками та маршмелову з натуральними барвниками антоціанової природи розширюють асортимент кондитерської продукції і можуть бути конкурентноспроможними і корисними з точки зору можливості корекції харчового раціону людини.

## Висновки

Досліджено антиоксидантні властивості мармеладу желейно-фруктового з рослинними кріодобавками з айви, яблук, гарбуза, моркви, винограду, шипшини, обліпихи. Показано, що введення даних добавок дозволяє одержати вироби з високим антиоксидантним потенціалом. АОЕ мармеладу зростає з 2,9 (АОЕ мармеладу без добавок) до 92,4 мг ААЕ/ 100 г. Встановлено, що додаткове введення кріопорошків у зразки мармеладу з кріопастами збільшує АОЕ мармеладу майже у

3,5–10 разів. Доведено, що антиоксидантні властивості мармеладу желейно-фруктового після гарантованого терміну зберігання залишаються на рівні 60...85% від АОЕ свіжовиготовлених зразків мармеладу.

Отримані на основі адитивної схеми величини АОЕ як сума вкладів основи та рослинної добавки в межах 25 % збігаються з експериментальними даними. Показано, що вклад антиоксидантної ємності кріодобавки в загальну величину АОЕ є домінуючим, коливаючись від 75 до 98 % для мармеладу та 56–77 % для маршмелу. Цим фактом доведено, що антиоксидантні властивості мармеладу та маршмелу покращуються за рахунок введення рослинних кріодобавок.

Показано, що використання в якості барвника екстракту кріас-порошку з суданської троянди або чорноплідної горобини надає виробам антиоксидантних властивостей. Доведено, що антиоксидантні властивості нових видів маршмелу під час зберігання за температури 15..18 °С та вологості повітря не більше 75 % залишаються стабільними протягом 1 місяця.

### Список використаних джерел

1. Valko M. *Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease [Text]* / M. Valko, D. Leibfritz, J. Moncol, M.T. Cronin et al. // *Int.J.Biochem.Cell Biol.* 2007. – Vol. 39, № 1357–2725. – P. 44–84.
2. Frankel E. N. *Antioxidants in food and biology Facts and fiction [Text]* / Philadelphia: Woodhead Publishing Limited. – 2012. – 254 P.
3. Pokorny J. *Antioxidants in food. Practical applications [Text]* / Edited by J. Pokorny, N. Yanishlieva, M. Gordon. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited 2001. – 380 P.
4. Pisoschi, A. M. *The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a review [Text]* / A. M. Pisoschi, A. Pop // *European journal of medicinal chemistry.* – 2015. – Vol. 97. –P. 55–74.
5. Yao L. H. *Flavonoids in food and their health benefits [Text]* / L. H. Yao, Y. M. Jiang, J. Shi, F. Tomás-Barberán et al. // *Plant Foods Hum. Nutr.* 2004. – Vol. 59. – № 3. – P. 113–122.
6. Elżbieta S. *The sources of natural antioxidants [Text]* / E. Sikora, E. Cieślík, K.Topolska // *Acta Sci. Pol., Technol, Ailm.* 2008. – Vol. 7 (1). – P. 5–17.
7. Павлюк Р. Ю. *Новые технологии биологически активных растительных добавок и их использование в продуктах иммуномодулирующего и радиозащитного действия [Текст]* / Р. Ю. Павлюк, А. И. Черевко, В. В. Погарская // *Укр. національний ун-т пищ. технологій.* – Харьков; Киев, 2002. – 205 с.
8. Храмова Е. *Целебные свойства фруктов и овощей [Текст]* / ОЛМА Медиа Групп. – М. – 2012. – с. 432.

9. Винницькая В.Ф., Данилин С.И., Перфилова О.В. Перспективы развития производства основных видов плодовоовощной продукции для полноценного и здорового питания [Текст] / Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания, № 2, 2014, С. 45–51.
10. Inês Da-Costa-Rocha Hibiscus sabdariffa L.-A phytochemical and pharmacological review [Text] / Inês Da-Costa-Rocha, Bernd Bonmlaender, Hartwig Sievers, Ivo Pischel, Michael Heinrich // Food Chemistry. – 165(2014). – pp. 424–443.
11. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения. Фармакогнозия [Текст] / под. ред. Г.П. Яковлева. – Спб. : СпецЛит, 2006. – 845 с.
12. Павлюк Р. Ю. Нанотехнології заморожених криопаст із плодів та овочів з унікальними характеристиками – добавок для функціональних молочних продуктів [Текст] / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, С. М. Лосева // Молокопереробка. – 2010. – № 1 (52). – С. 24–29.
13. ТУ У 10.3-38648982-001:2013. Порошки із криосублимованої овочевої, фруктово-ягідної та рослинної сировини. [чинний від 2013-07-31]. X – ДП «Харківстандартметрологія», 2013. – 38 с.
14. Биологически активные криас-добавки в новом поколении продуктов питания с повышенной биологической ценностью [Текст] / Под ред. Ю. Л. Гальчинецкой. – Харьков: «НПП «Криас-1», 2010. – 89 с.
15. Артамонова М. В. Технологія мармеладу желейного з використанням криас-порошків рослинного походження: монографія [Текст] / М. В. Артамонова, Г. М. Лисюк, Н.Ф. Туз. – X. : ХДУХТ, 2015. – 134 с.
16. Артамонова М. В. Удосконалення технологій мармеладно-пастильних виробів з використанням рослинних добавок отриманих за криотехнологіями [Текст] / М. В. Артамонова, І. С. Пілюгіна, Н. В. Шматченко. – В кн.: Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технології, енергоефективної переробки, зберігання та маркетингу. – X.: ХДУХТ, 2015. – С. 144–171.
17. Apak R. Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity / activity (iupac technical report)\*[Text] / R. Apak, S. Gorinstein, V. Böhm [et al.] // Pure Appl. Chem. – 2013. – Vol. 85. – No. 5. – P. 957–998.
18. Мисин В.М. Стандартизація термінів и определений в области «АНТИ-ОКСИДАНТЫ» [Текст] / В.М. Мисин, Н.Г. Храпова, А.Ю. Завьялов, Е.Б. Бурлакова // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. Vol. 15. – № 17. – P. 236–241.
19. Yin H. Free radical lipid peroxidation: mechanisms and analysis [Text] / H. Yin, L. Xu, N. A. Porter // Chemical Reviews. – 2011. – Vol. 111, No. 10. – P. 5944–5972.
20. Prior R. L. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements [Text] / R. L. Prior, X. Wu, K. Schaich // J.Agric.Food Chem. – 2005. – Vol. 53. – P. 4290–4302.

21. Ivanova A. V. *Potentiometric Study of Antioxidant Activity: Development and Prospects [Text]* / A.V. Ivanova, E.F. Gerasimova, K.Z. Brainina // *Crit. Rev. Anal. Chem.* –2015. –Vol. 45. –№ 4. –P. 311–322.
22. Pisoschi A. M. *Electrochemical Methods for Total Antioxidant Capacity and its Main Contributors Determination: A review [Text]* / A. M. Pisoschi, C. Cimpeanu, G. Predoi // *Open Chemistry.* - 2015. – Vol. 13.- P. 824-856.
23. Sochor J. *Electrochemistry as a Tool for Studying Antioxidant Properties [Text]* / J. Sochor, J. Dobes, O. Krystofova, B. Ruttkay-Nedecky [at al.] // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2013. – v. 8. – P. 8464–8489.
24. Абдуллин И.Ф. *Кулонометрическая оценка антиоксидантной способности экстрактов чая электрогенерированным бромом [Текст]* / И.Ф. Абдуллин, Е.Н. Турова, Г.К. Будников // *Аналитическая химия.* – 2001. – Т. 56. – № 6. – С. 627–629.
25. Ziyatdinova G. K. *Galvanostatic coulometry in the analysis of natural polyphenols and its use in pharmacy [Text]* / G. K. Ziyatdinova, A. M. Nizamova, G. K. Budnikov // *Journal of Analytical Chemistry.* – 2010. –Vol. 65. - No. 11. –P. 1202–1206.
26. Budnikov G.K. *Antioxidants As Analytes in Analytical Chemistry [Text]* / G.K.Budnikov, G.K. Ziyatdinova // *Journal of Analytical Chemistry.* – 2005. – Vol. 60. –No. 7. – P. 600–613.
27. Ziyatdinova G.K. *Natural phenolic antioxidants in bioanalytical chemistry: state of the art and prospects of development [Text]* / G.K. Ziyatdinova, G.K.Budnikov // *Russian Chemical Reviews.* – 2015. – Vol. 84/ –N. 2. –P. 194 – 224.
28. Ziyatdinova G. *Coulometric titration with electrogenerated oxidants as a tool for evaluation of cognac and brandy antioxidant properties [Text]* / G. Ziyatdinova, I. Salikhova, H. Budnikov // *Food Chemistry.* – 2014. – Vol. 150. – P. 80–86.
29. Пат. 92844 Україна, МПК А 23 L 1/06. *Склад мармеладу з рослинними добавками [Текст]* / Павлюк Р. Ю., Артамонова М. В., Шматченко Н. В. – заявник і патентовласник Харківський державний університет харчування та торгівлі. – № и 2014 02562; заявл. 14.03.2014; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17. – 3 с.
30. Gubsky S. *Determination of total antioxidant capacity in marmalade and marshmallow [Text]* / Sergey Gubsky, Maiia Artamonova, Natalia Shmatchenko, Inna Piliugina, Elena Aksenova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2016. – Vol. 4. – N 11(82). - P. 43-50. DOI : 10.15587/1729-4061.2016.73546.
31. Evlash V. *Determination of ascorbic acid amount in gelatin aqueous solutions by galvanostatic coulometry using electrogenerated bromine [Text]* / S. Gubsky, E. Aksenova, A. Borisova, Z. Zhelezniak // *Industrial Technology and Engineering.* – 2016. – Vol. 18. –№ 1. – P. 22–31.
32. ТУ У 10.3-38648982-001:2013. *Порошки із криосублимованої овочевої, фруктово-ягідної та рослинної сировини. [чинний від 2013-07-31]. X – ДП «Харківстандартметрологія», 2013. – 38 с.*
33. Ladron de Guevara R.G. *The effect of a natural antioxidant on the stability of heat-treated paprika [Text]* / Ladron de Guevara, R. G., Bernabeu, R., Ricazo,

- M. I., Gonzalez, M., Varon, R. // Int. J. Food Sci. Technol. – 2005. – Vol. 40. – N 9. – P. 1005–1010.*
34. *Anese M. Influence of total solids concentration and temperature on the changes in redox potential of tomato pastes [Text] / Anese, M., Calligaris, S., Nicoli, M. C., Massini, R. // Int. J. Food Sci. Technol. – 2003. – Vol. 38. – N 1. – P. 55–61.*
35. *Bamidele O.P. Chemical and antioxidant properties of snake tomato (Trichosanthes cucumerina) juice and Pineapple (Ananas comosus) juice blends and their changes during storage [Text] / Bamidele O. P., Fasogbon M. B. // Food Chem. – 2017. – Vol. 220. – P. 184–189.*
36. *Duan X. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (Litchi chinensis Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning [Text] / Duan X., Jiang, Y., Su X., Zhang Z., Shi J. // Food Chem. – 2007. – Vol. 101. – N 4. – P. 1365–1371.*

## Розділ 5/Chapter 5

### Використання жиру–магнетитової суспензії для підвищення харчової цінності цукерок “сухофрукти в шоколаді”, збагачених залізовмісною харчовою добавкою

О.В. Александров, І.В. Цихановська, Т.А. Лазарева,  
Л.Ф. Павлоцька, Т.Б. Гонтар

### Use fat-magnetite suspension for higher nutritional value of sweets "dried fruits in chocolate", enriched with iron-containing dietary supplements

Olexandr Alexandrov\*, Irina Tsykhanovska,  
Tatyana Lazareva , Larisa Pavlotskaya, Tatyana Gontar

*Kharkiv Ukrainian Engineering-Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine  
Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine*

---

**Abstract:** An actual problem in Ukraine creation of functional purpose. Condensation method synthesized the fine magnetite, which is used to produce fat-magnetite suspension (FMS). The effect of additives on the stability of detergents liquid slurry process and the oxidation of fat during storage of confectionery: change physicochemical characteristics with the addition of detergents liquid fat in an amount of 0,75-1,0 weig. % and confectionery fats without the additive.. Established detergents liquid additive that increases resistance to oxidative transformations confectionery fats. A technology of oil - chocolate glaze with iron-containing additive and manufacturing technology "Dried fruits in chocolate" candy, iron-enriched food supplement.

**Keywords:** *fat, oxidative conversion, magnetite, stabilizer, suspension properties, application*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [alexandrov\\_a\\_v@inbox.ru](mailto:alexandrov_a_v@inbox.ru)



### Содержание

#### *Вступ*

#### *5.1. Експериментальні дослідження стійкості жиро-магнетитових суспензій*

#### *5.2. Результати використання жиро-магнетитової суспензії*

#### *Висновки*

#### *Список використаних джерел*

### Вступ

Кондитерська промисловість України – одна із важливих галузей харчової промисловості. Кондитерські вироби відрізняються високою поживністю та засвоюваністю. Цукерки є найчисельнішою по асортименту групою кондитерських виробів та найбільшою з кількості кондитерських мас, з яких вони виробляються. Зараз цукерки налічують більше 25% у загальному об'ємі виробництва кондитерських виробів. Сьогодні помітно зростання тенденції інтересу суспільства до здорового способу життя, усвідомлення цінності правильного харчування. Цукерки «Сухофрукти в шоколаді» вміщують цілий комплекс вітамінів, мікро- та макроелементів і відносяться до натуральних корисних продуктів харчування [1, 2].

У кондитерських виробництвах використовується великий асортимент жирів тваринного, рослинного і штучного походження, які зазнають різні, часом – глибокі, зміни при виробництві і в процесі зберігання, скорочуючи час зберігання і погіршуючи якісні показники і харчову цінність кондитерських виробів [1- 4].

Жиро-масляна компонента (ЖМК) кондитерських виробів відіграє важливу роль у формуванні їх харчової цінності. З одного боку, ЖМК є носієм джерел енергії – ацилгліцеринів, а також фосфоліпідів, незамінних факторів харчування ліпідної природи – поліненасичених жирних кислот, жиророзчинних вітамінів А, D, Е, К. З іншого боку, перевищення рекомендованих норм споживання жирових інгредієнтів кондитерських виробів і порушення необхідного балансу між ними призводить до зростання надлишкової маси тіла, ожиріння і багатьох захворювань [1]. У зв'язку з цим вміст і склад жирової складової кондитерських виробів і раціону в цілому повинні стати об'єктом пильної уваги не тільки вчених, але й виробників цих продуктів, зокрема, масложирової продукції [5].

Аналіз складу і властивостей олій і жирів дозволяє зробити висновок, що в природі немає жирів і масел, які б мали високу стійкість до окиснення і повністю відповідали б вимогам збалансованого жирнокислотного складу [5-14].

Останнім часом олії все більш витісняють з виробництва кулінарні жири на основі саломасу, які містять значну частку трансізомерів жирних кислот, які сприяють підвищенню ризику розвитку атеросклерозу і супутніх захворювань серця і судин, це – зниження чутливості клітин підшлункової залози до інсуліну, розвиток хронічних запальних процесів і ожиріння [4,10,13].

Олії особливо багаті поліненасиченими жирними кислотами (особливо соняшникова, соєва, кукурудзяна, оливкова), при цьому в їх складі відчутно бракує насичених жирних кислот [5,10]. Пальмова олія має термічну стійкість і в ній відсутні трансізомери жирних кислот; в ній міститься близько 11% поліненасичених жирних кислот; вона має досить високу стійкість до окиснення [ДСТУ 4306:2004].

У рапсовій олії від природи жирні кислоти розподілені ідеально. У цьому її перевага з точки зору користі для здоров'я, в порівнянні з іншими видами олій, як наприклад, оливковою або соняшnikовою. Рапсова олія містить тільки 7% насичених жирних кислот, але, при цьому, не містить особливо небезпечних для здоров'я довголанцюгових. Багато олеїнової кислоти – 60%. Більше, ніж в рапсовій олії, олеїнова кислота міститься тільки в оливковій, але оливкова олія містить набагато менше ненасичених жирних кислот [5,10, ГОСТ 8988 – 2002].

Найбільший вплив на окиснюваність жирів та олій має ступінь ненасиченості. Тому олії (в першу чергу, соняшникова, соєва, кукурудзяна, оливкова та їх суміші) в найбільшій мірі піддаються окисному псуванню при смаженні і подальшому зберіганні харчових продуктів, тому, що містять значну кількість поліненасичених жирних кислот (до 70%). Лінолева і ліноленова кислоти беруть активну участь в реакціях ізомеризації, циклізації і полімеризації. Лінолева кислота при ізомеризації дає завжди два геометричних ізомери (цис-транс і транс-цис). У процесі прогрівання їх концентрація зростає і утворюється транс-транс ізомер [4,5,9]. Лінолева кислота і більш високо ненасичені кислоти починають окислюватися ще при низьких температурах, нижче 60 ° С, а окиснення олеїнової кислоти практично починається при температурі вище 100 ° С, і тільки олеїнова фракція пальмової олії починає окислюватися при більш високій температурі [5,9].

За біологічною цінністю тваринні топлені жири поступаються оліям, що зумовлено меншим вмістом вітамінів та біологічно цінних незамінних поліненасичених жирних кислот (в основному, це олеїнова

кислота: в свинячому жирі її до 41–51%, в яловичому жирі – 2–5%), а ліноленова і арахідонова присутні в невеликих кількостях тільки в свинячому жирі, і більш високим – насичених жирних кислот (особливо пальмітинової і стеаринової – в сумі 30 – 46%) [5,10].

Невеликий вміст поліненасичених жирних кислот в саломасі, в топлених тваринних жирах – свинячому і яловичому, в заміниці молочного жиру та в кондитерських жирах: масова частка транс-ізомерів олеїнової кислоти в перерахунку на метилелаїдат – 2 – 25 %; масова частка поліненасичених жирних кислот (лінолева і ліноленова), близько 15 %; масова частка твердих триацилгліцеридів при температурі 20 °С – 12 – 60 %; співвідношення поліненасичених жирних кислот до насичених жирних кислот – 0,25 – 0,30 [5,10].

Окиснення ненасичених жирних кислот в ліпідах (жирях, оліях і т.д.) може протікати навіть при нормальній температурі в процесі їх зберігання – так зване самоокиснення [4,9,10]. Швидкість окисного псування жирів при зберіганні різко зростає з підвищенням температури і збільшенням поверхні контакту їх з повітрям. Крім того, самоокиснення жирів прискорюється під дією світла, особливо ультрафіолетових променів [4,8]. На стійкість жирів негативний вплив надає і підвищена вологість, так як присутність вологи викликає гідролітичний розпад жиру з накопиченням вільних жирних кислот, а в твердих жирах, крім того, сприяє розвитку мікроорганізмів. Тому жирові продукти з підвищеним вмістом вологи 16 – 17 % (маргарин, вершкове масло, заміники молочного жиру, кондитерські жири) більше схильні до гідролітичних процесів ніж практично безводні рослинні олії з вологістю 0,1 – 0,2% [4,5,8,9-11].

Тварини топлени жири, на відміну від рослинних олій, бідні природними антиокисниками (токоферолом, каротиноїдами) і тому значно швидше піддаються окисному псуванню під дією кисню повітря, що призводить до їх згіркнення та осалювання [4,5,8,9-11].

Таким чином, жири, олії та масло-жирові продукти в залежності від їх хімічного складу мають різну стійкість до окисних, гідролітичних і інших хімічних перетворень. Тому необхідно здійснювати заходи щодо запобігання цих змін, і контроль якості ліпідів з метою збереження споживчих характеристик і біологічної цінності [4,5,13].

Для попередження деструктивних процесів в жирно-масляних системах (ЖМС) та захисту масел і жирів від псування використовують «пасивні» і «активні» методи. До «пасивних» методів відноситься захист ліпідів від дії факторів, які викликають або каталізують процеси псування. До «активних» методів запобігання від окиснення масел і жирів відносяться: введення різних добавок, наприклад, антиоксидан-

тів – речовин, що переривають реакцію окиснення ЖМС і призначені для збільшення термінів їх зберігання [4,5,10,13]. Застосування антиоксидантів, як і інших харчових добавок, регулюється органами охорони здоров'я. Інгредієнти, які входять до складу ЖМС та продуктів на їх основі, повинні бути біологічно активними, безпечними, мати точні характеристики, норми щоденного споживання, а також проявляти антиоксидантну активність [1-5].

Дія антиоксидантів полягає в збільшенні індукційного періоду і зниженні швидкості окиснення. Згідно до теорії вільнорадикального механізму вплив інгібітору окиснення пов'язаний із виникненням менш активного радикалу, який не вступає в реакцію із молекулою первинної окиснювальної речовини та зникає в результаті рекомбінації не відновлюючи активний центр ланцюга [15].

Антиоксиданти можна поділити на рослинні та синтетичні [16].

Антиоксидантну дію мають численні природні речовини, що містяться в оліях та жирах [17]. Природними антиоксидантами є: токоферол, сезамол, фосфатиди, госсіпол та його похідні та ряд інших речовин [18]. Вітамін Е входить до складу багатьох олій та жирів. Він є сумішшю різноманітних форм токоферолу, що мають біологічну та антиоксидантну активність [19]. Ефективними антиоксидантами є фенольні сполуки, що містяться у рослинах, які містять у своєму складі, окрім фенолів, ряд біологічно – активних речовин [20-25].

Із синтетичних найбільш поширені фенольні інгібітори окиснення: бутилгідроксітолуол, бутилгідроксіанізол. Але синтетичні антиоксиданти не є безпечними для здоров'я людини, що стимулює тенденцію до переходу на натуральні – рослинні інгібітори окиснення [16,23].

У деяких випадках доцільно застосовувати суміш антиоксидантів, які характеризуються різною дією [1,3,24,25]. При чому, чим вище їх дозування, тим більше термін придатності олій, жирів або жировмісних продуктів. Але нескінченно термін придатності збільшувати неможливо: концентрацію антиоксиданту вище 0,02% – 0,05 % піднімати недоцільно з технологічних та гігієнічних міркувань [3].

Аналіз наукових досліджень і публікацій з питань якості кондитерських виробів, підвищення біологічної цінності, подовження терміну їх зберігання показав, що у теперішній час дослідження з пошуку біологічно активних добавок, які містять засвоюване двовалентне залізо та перешкоджають проходженню окиснювальних і деструктивних процесів в кондитерських жирах продовжуються з наростаючою інтенсивністю [21-24].

З іншого боку, як не дивно, навіть вегетаріанці, які використовують у своєму раціоні зернові продукти, збагачені біологічно активними добавками, і овочі, багаті залізом, теж страждають дефіцитом заліза. Тому була висунута гіпотеза, що будь-яке з'єднання заліза, що перебуває в продуктах в природній формі або додане для збагачення цим елементом, засвоюється тільки в незначній мірі. Багато дослідників вишукують речовини, які дозволяли б збагатити харчові продукти засвоюваним двовалентним залізом [21- 23].

Як джерело двовалентного заліза і біологічно активної антиоксидантної добавки може бути запропонований магнетит ( $\text{FeO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [26-28].

За рахунок  $\text{Fe(II)}$  магнетит здатний виявляти відновні властивості і може застосовуватися в якості антиоксиданту та джерела засвоюваного заліза. Цитоморфологічними дослідженнями в експериментах *in vivo* доведено, що магнетит є швидкозасвоюваним препаратом, показано позитивний вплив магнетиту на окремі органи і системи органів організму людини. Доведена мікробіологічна безпека магнетиту, його бактеріцидні і бактеріостатичні властивості [26, 27].

Різноманітність властивостей дозволяє рекомендувати  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в якості біологічно активної добавки комплексної дії до олій, жирів і жиру – масляних композицій.

На Україні існує задача забезпечення раціонів харчування якісними продуктами з підвищеною харчовою цінністю. Одним із способів її рішення може бути введення у харчові продукти ультратонкого порошку магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), який має набір корисних властивостей, які дозволяють по новому вирішити задачі створення продуктів підвищеної харчової цінності зі подовженим терміном зберігання [27 -31].

Тому, актуальною є розробка технології сухофруктів у шоколадній глазурі, збагачених залізовмісною харчовою добавкою антиоксидантної дії.

Метою досліджень, результати яких наведені в цій статті, була розробка технології виробництва масляно – шоколадної глазури, збагаченої залізовмісною антиоксидантною добавкою на основі ультра тонкого порошку магнетиту, а також дослідження показників її якості.

### 5.1. Експериментальні дослідження стійкості жиру–магнетитових суспензій

В дослідженні використовувалась кондитерські жири виробництва ВАТ «Вінницький олійножировий комбінат»: кондитерський жир для вафельних виробів «Віолія» [ДСТУ 4492:2005] та кондитерський

жир “Шортенінг“ серії “Віолія“ [ТУ У 15.4 – 00373758 – 022:2006]; емульгатор (поверхнево – активна речовина – ПАР) – моноацилгліцерол Dimodan HP виробництва "Danisco A/S" (Edwin Rahrs Vej 38 DK-8220 Brabrand, Denmark) (Данія).

Показники якості в жирах визначалися за допомогою йодного, пероксидного, кислотного чисел, згідно зі стандартними методами [ДСТУ ISO 3961:2004, ДСТУ ISO 3960-2001, ГОСТ 26593-85, ДСТУ 4350:2004, ГОСТ 5476-80].

Стійкість жиру – магнетитових суспензій визначали методом центрифугування [ДСТУ 4487:2005; ГОСТ 20004.2-93] та спектрофотометрично по каламутності [32]

При отриманні суспензій було використано магнетит, який було синтезовано згідно з [33].

При отриманні цукерок «Сухофрукти в шоколаді» в роботі використовували шоколадну глазур, до складу якої замість дорогого какао – масла використовували кондитерські жири «Віолія» та «Шортенінг» [30]. В роботі досліджували фізико-хімічні показники кондитерських жирів (КЖ) ”Шортенінг”, ”Віолія”, а також КЖ, збагачених залізовмісною харчовою добавкою – жиром – магнетитовою суспензією (ЖМС).

*Одержання жиру – магнетитової суспензії.* Жиро – магнетитову суспензію (ЖМС) отримували за технологією [27-30]. Також визначені її характеристики за допомогою сучасних фізичних й фізико-хімічних методів досліджень, які дозволяють об’єктивно оцінювати використані зразки для застосування магнетиту ( $Fe_3O_4$ ) у якості залізовмісної антиоксидантної добавки. В табл. 5.1 представлено склад ЖМС.

Таблиця 5.1

**Склад жиру-магнетитових суспензій (ЖМС)**

№ проби		Емульгатор (ПАР), моноацилгліцерол Dimodan HP, мас.%	Магнетит, мас.%
Кондитерський жир ”Віолія”	Кондитерський жир ”Шортенінг”		
1	10	0,2	0,04
2	11	0,45	
3	12	0,7	
4	13	0,2	0,05
5	14	0,45	
6	15	0,7	
7	16	0,2	0,06
8	17	0,45	
9	18	0,7	

Запропонована нами технологія отримання жиру-магнетитової суспензії складається з двох основних стадій: синтезу високодисперсного магнетиту колоїдних розмірів і стабілізації його в жирі. Розроблений нами технологічний процес включає:

- отримання осаду дрібнодисперсного  $Fe_3O_4$ ;
- багаторазове промивання магнетиту дистильованою водою з метою видалення іонів, які, адсорбуючись на поверхні частинок, можуть заважати адсорбції молекул стабілізатора - моноацилгліцеролу Dimodan HP (ПАР);

- пептизація вологого осаду магнетиту розчином ПАР і жиру. При цьому оптимальним масовим співвідношенням магнетит:ПАР:жир є співвідношення (65-70%):(10-15%):(16-25%), а пептизація проводиться при температурі 60-90 °С. Ці умови виявились оптимальними для переведення магнетиту з водного середовища в жирове, сприяють найбільш повному накриттю поверхні частинок шаром ПАР. В результаті пептизації отримують густу масу, що легко відділяється від води.

- розбавлення отриманої суміші дисперсним середовищем (кондитерським жиром) дозволяє отримати жиру – магнетитову суспензію.

Слід відзначити складності, що виникають при отриманні магнетито – жирової суміші (з додаванням ПАР) та її розбавленні. З метою обезводнення підігріту до 60-90°С масу центрифугують. Видалення води з маси забезпечує отримання стійкої суспензії. Оскільки стабілізатор розчиняється в дисперсному середовищі, то при розбавленні можлива часткова десорбція молекул стабілізатора з поверхні частинок і, відповідно, агрегація останніх, що веде до збільшення частинок, та, в кінцевому результаті, – до розшарування суспензії. Щоб запобігти цьому, розбавлення проводять в розчині стабілізатору в рідині – носії – розплавленому жиру (5% від загальної маси стабілізатору розплавляли та змішували з 95% від загальної маси жиру). Оптимальним співвідношенням ПАР і жиру в розчині обирають таким, щоб загальне масове співвідношення магнетиту, ПАР та жиру було 0,05:0,7:100. Це забезпечує компенсацію десорбції стабілізатору з поверхні частинок та їх повне накривання шаром молекул ПАР. Розбавлення маси проводять при підігріві до 60 –70 С° і постійному перемішуванні протягом 30 хвилин. При цьому відбувається роз'єднання кластерів, які утворилися під дією магнітних сил, із молекул стабілізатора та магнетиту, що запобігає їх осаду. В результаті отримують стійку суспензію, що складається з окремих частинок магнетиту, покритих шаром ПАР і рідини – носія – кондитерського жиру.

Для підвищення стабільності системи нами було проведено центрифугування для видалення найбільш великих часток дисперсної фази (магнетиту з ПАР).

*Розробка технології виробництва цукерок “Сухофрукти в шоколаді”.*

Аналітичний огляд технічної та патентної літератури та проведені дослідження показали доцільність розробки технології виробництва цукерок “Сухофрукти в шоколаді” зі залізовмісною антиоксидантною добавкою магнетиту.

При виробництві та зберіганні глазури вона, та кондитерський жир, який входить до її складу зазнає впливу різних факторів, таких як температура, гравітація, кисень повітря. Проведені нами дослідження показали хороші результати стійкості синтезованої жиру – магнетитової суспензії (ЖМС) під впливом часу, центрифугування та в широкому діапазоні температур: від -6 до 100°C. Отримані ЖМС можливо використовувати при виробництві цукерок “Сухофрукти в шоколаді”, оскільки вони залишаються стабільними на всіх стадіях технологічного процесу.

## 5.2. Результати використання жиру–магнетитової суспензії

Дослідження показали, що магнетит виявляє антиокисну дію відносно жирів; покращує якість жирів і жировмісних продуктів; подовжує їх терміни придатності; сприяє збагаченню засвоюваним залізом Fe (II), кращому перетравленню жирів, підвищенню харчової цінності та отриманню на його основі стійких жиру – магнетитових суспензій.

Експериментальні дані по вивченню окисних змін кондитерських жирів при додаванні магнетиту виявили, що введення залізовмісної антиоксидантної добавки ( $Fe_3O_4$ ) до жирів впливає на процеси їх окиснення і, вірогідно, на процес термopolімеризації і циклізації. Проаналізувавши фізико – хімічні характеристики: кислотне, йодне та пероксидне числа, відібраних зразків жирів з добавкою ЖМС та без добавки ЖМС, можна відмітити, що їх значення відповідають нормативним; добавка магнетиту в складі ЖМС надає позитивний вплив на збереження якості та подовження терміну застосування кондитерських жирів. Тому нами рекомендовано вводити добавку магнетиту в жирову глазур при виробництві цукерок “Сухофрукти в шоколаді”. Авторами експериментально встановлено [34], що магнетит виявляє деяку каталітичну активність, наприклад, при ферментативному розчепленні



ліпідів. Таким чином введення магнетиту в раціон харчування сприяє кращому перетравленню жирів.

*Дослідження стійкості жиру – магнетитових суспензій методом центрифугування.* Одним з важливих технологічних параметрів суспензій є їх стійкість. В роботі досліджували стійкість зразків суспензій № 1–18 методом центрифугування (при швидкості обертання центрифуги 1000, 1500 і 2000 об/хв. та часу центрифугування 1, 2, 3, 4 хв.). Отримані ідентичні результати на обох кондитерських жирах («Віюлія» та «Шортенінг»). При цьому слід зазначити, що стійкість кондитерських жирів «Віюлія» та «Шортенінг» без добавки магнетиту дорівнює 100 об.% во всіх пробах.

Результати випробувань показують, що одержані суспензії характеризуються достатньо високою стійкістю. Масова доля зруйнованої суспензії становить не більше 0,3 об.% – 2,4 об.%. Оптимальні результати були отримані у пробах №№ 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 18, тобто з вмістом ПАР 0,45 мас.% та 0,70 мас.%. А так як нас цікавить велика концентрація магнетиту в ЖМС (не 0,04 мас.%, а 0,05 мас.%), то краще рекомендувати для отримання стійкої ЖМС і більший вміст ПАР (0,70 мас.%).

*Дослідження стійкості жиру – магнетитової суспензії під впливом різних температур.* Одержані експериментальні дані при наступному термонавантаженні суспензій: 100 °С протягом 10 хвилин і -6 °С протягом 60 хвилин.

З експериментальних даних видно, що жиру – магнетитові суспензії характеризуються достатньо високою термостабільністю. Об'ємна доля зруйнованої суспензії становить 1,0 об.% – 2,7 об.%. Оптимальний результат були отримані у пробах №№ 3, 6, 9, 12, 15, 18. Одержані ЖМС виявились стійкими у широкому діапазоні температур: от -6 °С до 100 °С.

*Дослідження стійкості жиру-магнетитових суспензій у часі.* Стійкість суспензії перевірялася після витримки у часі в природних умовах ( $t^{\circ}\text{C}=17^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ ,  $p=660 - 750$  мм.р.с., вологість повітря 70% – 75%) протягом від 30 хв. до 45 діб. Перед оцінкою стійкості тверді зразки розплавляли при  $t^{\circ}\text{C}=40^{\circ}\text{C}$  и центрифугували відповідно [ДСТУ 4487:2005; ГОСТ 20004.2-93].

Дослідження показали, що одержані суспензії являються стійкими у часі. Об'ємна доля зруйнованої суспензії становить (і при 100 °С і при - 6 °С): через 0,5 годин 1,2 об.%; через 24 години – 1,6 об.%; через 1080 годин – 2,3 об.%. Оптимальний результат був отриманий у пробах №№ 3, 6, 9, 12, 15, 18.

Таким чином, отримані жиру – магнетитові суспензії (ЖМС) склали іспити на стійкість у часі, при центрифугуванні и під дією широкого діапазону температур (від - 6 °С до 100 °С).

З урахуванням проведених досліджень стійкості ЖМС та медико-біологічних вимог щодо вмісту заліза у продуктах харчування [3] визначене оптимальне співвідношення магнетит:стабілізатор для кондитерських жирів “Віюлія”, “Шортенинг” 0,05 : 0,7 мас. %.

*Дослідження стійкості жиру – магнетитових суспензій спектrophотометричним методом (по каламутності). Визначення розміру часток та концентрації суспензій.*

В роботі досліджувались зразки з оптимальним співвідношенням компонентів суспензії – зразки №№ 5,14.

З метою встановлення розміру колоїдних часток була отримана експериментальна залежність коефіцієнта пропускання (Т) шару ЖМС від довжини хвилі світла та досліджена залежність коефіцієнта послаблення світла від довжини хвилі  $\alpha = f(\lambda)$  (рис. 5.1).

Відповідно до закону Бугера-Ламберта-Бера коефіцієнт ослаблення  $\alpha$  пов’язаний з коефіцієнтом пропускання таким чином:

$$\alpha_i = - \ln T_i / \lambda_i \quad (5.1)$$

Довжина хвилі в жирі ( $\lambda_i$ ) розраховувалась як:

$$\lambda_i = \lambda_0 / n_0 \quad (5.2)$$

де  $\lambda_0$  довжина хвилі в повітрі,  $n_0$  – показник заломлення у жирі, визначений експериментально, він дорівнює 1,52 та 1,54 г (в кондитерських жирах “Віюлія” та “Шортенинг” відповідно).

З теорії розсіяння світла на малих частинках відомо, що залежність  $\alpha(\lambda)$  добре описується степеневою функцією (3):

$$\alpha(\lambda) = A / \lambda^q \quad (5.3)$$

Тут А - коефіцієнт, який не залежить від довжини хвилі, q - показник ступеня, значення якого залежить від співвідношення між розміром частинок r і довжиною хвилі світла  $\lambda$ .

Значення параметрів А і q в формулі (3) були знайдені нами за допомогою методу найменших квадратів на практично лінійній ділянці  $\alpha = f(\lambda)$  від 0,40 до 0,58 мкм: А = 44,8, q = 1,657.

Теоретична крива залежності (3) при цих значеннях показана на рис. 5.2 суцільною лінією.

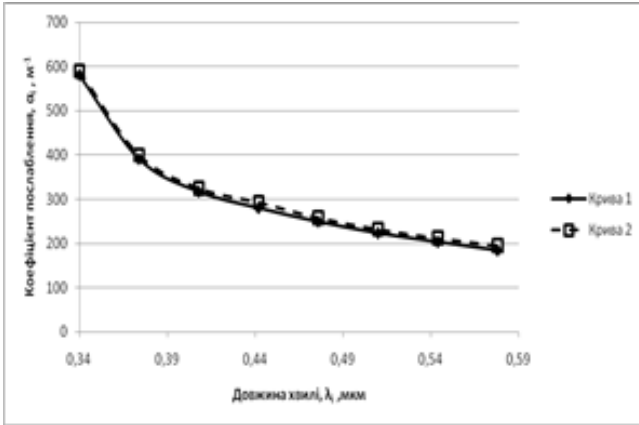


Рис. 5.1. Спектри послаблення світла жиро-магнетитовими суспензіями (на основі кондитерських жирів: «Віолія» - крива 1; «Шортенінг» - крива 2)

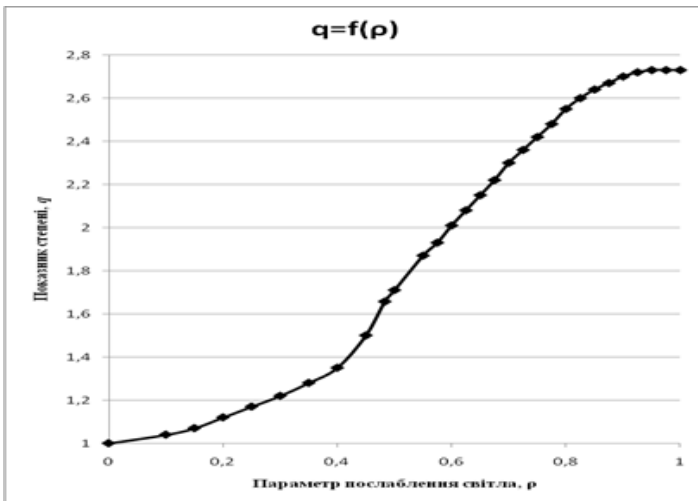


Рис. 5.2. Теоретична крива залежності  $q = f(\rho)$

З теорії розсіяння світла [32] відомо також, що коефіцієнт послаблення визначається за формулою (4):

$$A = \pi r^2 N Q(\rho, m) \quad (5.4)$$

де  $N$  – концентрація частинок у суспензії,  $r$  – розмір частинок,  $Q$  – фактор ефективності послаблення  $\rho = 2\pi r/\lambda$ ,  $m = n - ik$  – комплексний показник заломлення,  $n$  – показник заломлення,  $k$  – показник поглинання,  $i = \sqrt{-1}$  – уявна одиниця.

Ця формула показує – яка частина енергії видаляється з світлового потоку частинками, що знаходяться в суспензії. Частинки можуть і поглинати, і розсіювати світло. Якби в даній ситуації були справедливі закони геометричної оптики, ця частина дорівнювала б  $\pi^2 N$  – площі поперечного перетину всіх частинок, на які падає світло. Оскільки розміри частинок порівнянні з довжиною хвилі світла, ефективний поперечний переріз залежить від співвідношення  $r/\lambda$ . Поправка на це дається множителем  $Q$ . Його значення залежить від параметра  $\rho$  і комплексного показника заломлення частинок  $m$ .

При розрахунках форма частинки вважається сферичною. Реальні частинки, звичайно, мають неправильну форму. Але при хаотичному розташуванні їх в просторі результати розрахунків для сферичних частинок добре співпадають з результатами експерименту. Формули для розрахунку фактора ефективності послаблення  $Q$  добре відомі в теорії розсіяння світла [32].

$$q = \frac{\rho}{Q(\rho, m)} \frac{\partial Q(\rho, m)}{\partial \rho} \quad (5.5)$$

Це рівняння зв'яже величини  $q$  і  $\rho$ . Визначивши з експериментальних даних показник степені  $q$ , можна знайти параметр  $\rho$ . Це можна зробити за допомогою графіка (рис.2). На рис. 2 показана залежність  $q(\rho)$ , розрахована для магнетиту з комплексним показником заломлення  $m = 2 - 0,04i$ . Це табличне значення показника заломлення відносно повітря. Оскільки частинки знаходилися в кондитерському жирі з показником заломлення  $n^0 = 1,52$  та  $1,54$  (“Віюлія” та “Шортенінг” відповідно), то при розрахунках величини  $Q$  бралось значення показника заломлення частинок відносно цього середовища  $m/n^0 = 1,32 - 0,026i$ .

З рис. 5.2 видно, що показнику степені  $q = 1,657$  відповідає значення параметра  $\rho = 0,483$ .

Радіус часток  $r$  знайшли, використовуючи співвідношення  $\rho = 2\pi r/\lambda$ . В ньому використовували значення довжини хвилі світла у середовищі ЖМС (кондитерських жирах «Віюлія» та «Шортенінг»). Брали середнє значення довжини хвилі у досліджуваному діапазоні:

$\lambda_{\text{ср.}} = (\lambda_{\text{max}} + \lambda_{\text{min}})/2 = 0,503$  мкм, тоді  $r = \rho \lambda_{\text{ср.}}/2\pi = 0,039$  мкм, а  $d = 2r = 0,078$  мкм

Розмір наночастинок склав 78 нм (склад суспензії – магнетит : емульгатор : жир = 0,025г : 0,35г : 50г). Знаючи розмір частинок, за допомогою формули (6) знайшли їх концентрацію в суспензії:

$$N = \alpha / \pi r^2 Q(\rho, m) \quad (5.6)$$

В роботі визначили зміну кількості (концентрацію) часток в 1см<sup>3</sup> суспензії протягом 45 діб, результати наведені в табл. 2.

Таблиця 5.2

**Кількість часток в 1см<sup>3</sup> жиру – магнетитової суспензії**

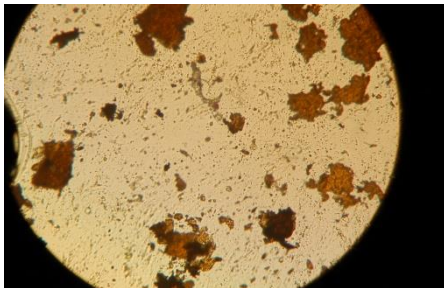
Кількість часток магнетиту в 1см <sup>3</sup> суспензії	Час витримки ЖМС, год					
	0	0,5	1,0	24,0	48,0	1080,0
на основі «Віолії»	1,15 · 10 <sup>12</sup>	1,1 · 10 <sup>12</sup>	1,0 · 10 <sup>12</sup>	0,85 · 10 <sup>12</sup>	0,72 · 10 <sup>12</sup>	0,65 · 10 <sup>12</sup>
на основі «Шортелінга»	1,25 · 10 <sup>12</sup>	1,15 · 10 <sup>12</sup>	1,05 · 10 <sup>12</sup>	0,85 · 10 <sup>12</sup>	0,80 · 10 <sup>12</sup>	0,75 · 10 <sup>12</sup>

Аналіз табл.5.2 вказує на те, що кількість часток у шарі суспензії через 1 годину зменшується на 0,87%, через 24 години – на 18,26%, через 48 годин – на 25,22% і через 45 діб – на 52,17%. Отримані дані свідчать про недостатню однорідність часток магнетиту – в першу добу осідають найкрупніші частки.

*Мікроскопічні дослідження.* Були проведені з метою встановлення будови часток жиру – магнетитової суспензії та механізму взаємодії її компонентів (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, ПАР, жир). Дослідження проводили методом скануючої електронної мікроскопії (SEM) на скануючому електронному мікроскопі JSM-820 (JEOL) при збільшенні ×1000.

В роботі проведені мікроскопічні дослідження (рис. 5.3–5.6) зразків жиру-магнетитових суспензій з різним співвідношенням магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): ПАР:

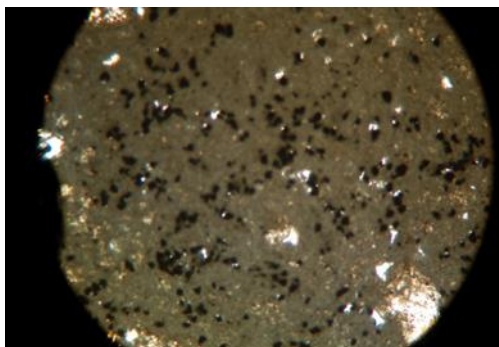
- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> : ПАР = 0,025г:0,1г (0,05мас%:0,2мас.%) (рис.5.3);
- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> : ПАР = 0,025г:0,225г (0,05мас%:0,45мас.%) (рис.5.4);
- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> : ПАР = 0,025г:0,35г (0,05мас%:0,7мас.%) (рис.5.5,5.6).



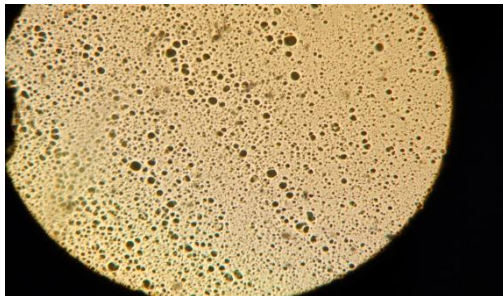
**Рис. 5.3.** Суміш сухого  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з твердим ПАР в співвідношенні 0,025 г магнетиту : 0,10 г ПАР (дисперсійне середовище - кондитерський жир)



**Рис. 5.4.** Суміш сухого  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з твердим ПАР в співвідношенні 0,025 г магнетиту : 0,225 г ПАР (дисперсійне середовище - кондитерський жир)



**Рис. 5.5.** Суміш вологого  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з твердим ПАР в співвідношенні 0,025 г магнетиту : 0,35 г ПАР (дисперсійне середовище - кондитерський жир)



**Рис. 5.6.** Суміш вологого  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з твердим ПАР в співвідношенні 0,025 г магнетиту : 0,35 г ПАР після пептизації (дисперсійне середовище – кондитерський жир)

Порошок магнетиту для мікроскопії готували двома способами: 1) порошок висушували на повітрі та герметично закривали; 2) свіжо відмитий порошок зберігали під шаром води.

За допомогою мікроскопічного аналізу при першому способі (рис.5.3 - проба №4, рис.5.2 – проба №5.) приготування магнетиту виявлено, що сухий порошок магнетиту характеризується достатньо рівномірною дисперсністю по об'єму проби у відношенні крупної, середньої та дрібної фракції приблизно як 1:1:1 (30 об.% – 33 об.% кожна). Форма кристалів неправильного, уламкового типу. Середня фракція складається в основному із агрегатів дрібних часток.

При другому (рис. 5.4 – проба №6) способі, проба вологого магнетиту складається з крупних часток. Форма часток наближається до сферичної. Спостерігається щільне зрощування «крупні-тверді» агрегати, очевидно під шаром речовини проходила хімічна взаємодія часток магнетиту з водою суспензії. Агрегація часток магнетиту відбувається, ймовірно, за рахунок наступного: залишкова кількість  $\text{NH}_4\text{Cl}$  гідролізується з утворенням хлоридної кислоти ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$ ), котра взаємодіє з частками магнетиту і приводить до активізації поверхні магнетитових часток. В процесі зберігання ці активні частки взаємодіють одна з одною, зрощуються, утворюючи жорсткі агрегати (більш крупні частки).

На рис. 5.5 помітні незабарвлені сферичні краплі води (це може негативно впливати на якість, стійкість та однорідність суспензії). Під шаром води зберігати магнетит не можна.

Для того, щоб запобігти злипанню вологих часток магнетиту нами запропонована стадія пептизації. Мікроскопічне дослідження отриманого зразка наведено на рис. 5.6 – проба №6. Аналіз рис. 5.6

показує, що проба складається з достатньо дрібних часток магнетиту, рівномірно розподілених на весь об'єм зразка. Форма часток переважно сферична, розмір часток – 78 нм (був нами визначений раніш).

Ефективним може бути використання висушеного порошку магнетиту природною сушкою при кімнатній температурі.

*Визначення фізико – хімічних характеристик жиру – магнетитових суспензій.* До важливих показників якості кондитерських жирів відносяться такі фізико – хімічні характеристики як кислотне число, пероксидне число, йодне число. Ці показники є непрямую характеристикою хімічного складу ЖМС. Паралельно з дослідженням ЖМС визначають вищенаведені числа у замінивнику молочного жиру торгової марки «Віолія» та у кондитерському жирі торгової марки «Шортенінг», для визначення подальших їх змін у суспензії, до складу якої додано магнетит та схильність ЖМС до хімічної взаємодії з іншими речовинами в процесі всього технологічного циклу їх використання [27-31].

Усі фізико-хімічні показники визначали для проб ЖМС (див. таблицю 1) та кондитерських жирів «Віолія» й «Шортенінг» у часі (0 год., 24 год., 48 год., 1080 год.).

*Визначення пероксидного числа жиру – магнетитових суспензій.* Перекисне (пероксидне) число відображає вміст пероксидів – первинних продуктів окиснення жирних кислот. Це своєрідний індикатор стійкості жиру до окиснення.

Згідно з ДСТУ4492:2005 значення пероксидних чисел для кондитерських жирів становить не більше 5,0 ммоль  $\frac{1}{2}O/kg$ ; після зберігання – не більше 10 ммоль  $\frac{1}{2}O/kg$ .

Пероксидне число визначали для проб №№ 1,4,6,7. Результати визначення пероксидного числа (ПЧ) наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

**Результати визначення пероксидного числа (ПЧ)**

Проба ЖМС	Пероксидне число, ПЧ, ммоль $\frac{1}{2}O/kg$			
	Час витримки проби при температурі 25 °С, год			
	0	24	48	1080
Проба №1	1,9	2,6	3,3	5,0
Проба №4	1,6	2,4	3,1	4,8
Проба №6	1,55	2,35	3,05	4,75
Проба №7	1,5	2,3	3,0	4,7
«Віолія»	2	2,8	3,5	6,5
«Шортенінг»	2,1	2,9	3,6	6,6



Серед всіх проб найменше значення пероксидного числа – 1,5 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/kg, відповідає пробі № 7. Для всіх проб ЖМС значення пероксидного числа відповідає вимогам стандарту ДСТУ 4492:2005 (знаходиться в межах 1,5 – 2,1 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/kg). У кондитерських жирах без добавки магнетиту значення ПЧ більше в середньому на 17 %. Аналізуючи залежність пероксидного числа від терміну зберігання, можна помітити, що значення пероксидного числа ЖМС не стабільне: спочатку зростає у середньому на 0,7–1,3 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/kg, а потім поступово зменшується - на відміну від безмагнетитових проб – там ПЧ постійно збільшується. Це пов'язано, вірогідно, з утворенням проміжних комплексів магнетиту з киснем пероксидних радикалів і гідрогенпероксидів.

*Визначення кислотного числа жиру – магнетитових суспензій (КЧ). Чим вище КЧ, тим гірше якість жиру [5,8,14]. Згідно з ДСТУ4492:2005 значення кислотних чисел для кондитерських жирів «Віолія», «Шортенинг» становить – не більше 0,4 мг КОН/г.*

Кислотне число визначали для проб №№ 1,2,5,8 та кондитерських жирів «Віолія» й «Шортенінг». Результати визначення кислотного числа (ПЧ) наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

**Результати визначення кислотного числа (КЧ)**

Проба ЖМС	Кислотне число, КЧ, мг КОН/г			
	Час витримки проби при температурі 25 °С, год			
	0	24	48	1080
Проба №1	0,28	0,30	0,28	0,26
Проба №2	0,26	0,29	0,26	0,24
Проба №5	0,25	0,27	0,25	0,23
Проба №8	0,23	0,25	0,23	0,21
«Віолія»	0,3	0,32	0,39	0,47
«Шортенинг»	0,32	0,34	0,40	0,50

В цілому зміни кислотного числа не виходять за рамки стандарту ДСТУ 4492:2005. Серед всіх проб найменше значення кислотного числа – 0,23 мг КОН/г, відповідає пробі № 8. У кондитерських жирах без добавки магнетиту значення КЧ більше в середньому на 21 %. Аналізуючи залежність кислотного числа від терміну зберігання, можна помітити, що значення кислотного числа відповідають стандарту, але в ЖМС - з плином часу кислотне число поступово зменшується (в середньому на 16 %), в той час як в пробах без магнетиту – збільшується.

Тобто введення добавки магнетиту в кондитерські жири не тільки уповільнює процеси гідролізу жиру (накопичення вільних жирних кислот) але й призводить до сорбції на частках магнетиту деякої кількості жирних кислот. Це означає, що  $Fe_3O_4$  покращує якість кондитерських жирів та збільшує їх термін зберігання.

*Визначення йодного числа.* Нормативною документацією йодне число не регламентується, але його визначення представляє науковий та практичний інтерес, наприклад при розробці технології введення до жиру дієтичної добавки на основі магнетиту [5,8,14]. Позначення одиниці йодного числа (ЙЧ) - г  $I_2$  / 100 г.

Йодне число визначали для проб №№ 3,4,6,9 та кондитерських жирів «Віюлія» й «Шортенінг». Результати визначення йодного числа (ЙЧ) наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

**Результати визначення йодного числа (ЙЧ)**

Проба ЖМС	Кислотне число, ЙЧ, г $I_2$ / 100 г			
	Час витримки проби при температурі 25 °С, год			
	0	24	48	1080
Проба №3	116	115	112	108
Проба №4	116,5	116	114	110
Проба №6	117	116,5	114,5	110,5
Проба №9	117,5	117	115	111
«Віюлія»	115	110	105	100
«Шортенінг»	110	105	100	95

Значення йодних чисел для всіх проб МЖС, в середньому, не значно відрізняються від йодного числа чистого жиру: для проби № 3 – на 3,1 %, для проби № 4 – на 3,5 %, для проби № 6 – на 4,0 %, для проби № 9 – на 4,4 %. У кондитерських жирах без добавки магнетиту значення ЙЧ менше в середньому на 3,1 - 4,4 %. Серед всіх проб найбільше значення йодного числа – 117,5 г  $I_2$  / 100 г, відповідає пробі № 9. Результати експерименту показують, що з плином часу ЙЧ в МЖС зменшується повільніше. Зниження йодного числа у часі пов'язано, найвірогідніше, зі зменшенням ступеня ненасиченості вищих жирних кислот внаслідок участі в реакціях окиснення, полімеризації, або циклізації. Введення добавки магнетиту в кондитерські жири уповільнює ці процеси.

Крім того, магнетит, виявляє деяку каталітичну активність, наприклад, сприяє поліпшенню ферментативного розчеплення ліпідів і тим самим сприяє кращому перетравленню жирів.

Розробка технології виробництва цукерок “Сухофрукти в шоколаді”, збагачених залізовмісною антиоксидантною добавкою.

Аналіз отриманих результатів виявив оптимальний склад жиру – магнетитової суспензії на основі кондитерських жирів «Віолія» та «Шортенінг», де вміст магнетиту склав 0,05 мас. % (0,025 г), емульгатора 0,70 мас.% (0,35 г), жиру 99,25 мас.% (49,625 г), яка може використовуватися при виробництві шоколадної жирової глазури для цукерок “Сухофрукти в шоколаді”. Відповідно до медико – біологічних вимог, вміст магнетиту (у перерахуванні на залізо) у маслах і жирах не повинен перевищувати 5 мг/кг [3].

На основі проведених досліджень нами розроблена рецептура масляно – шоколадної глазури для цукерок “Сухофрукти в шоколаді” з добавкою магнетиту (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

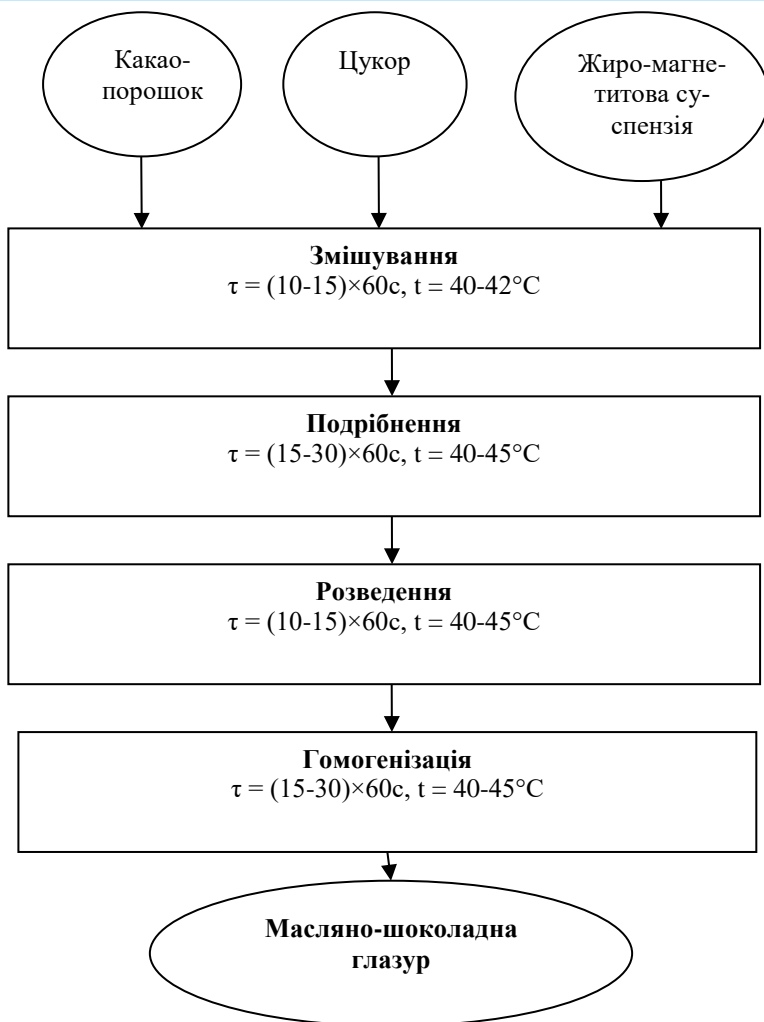
**Рецептура жирової шоколадної глазури для цукерок  
“Сухофрукти в шоколаді”.**

<b>Найменування сировини</b>	<b>Маса, г</b>	<b>%</b>
Цукор	546	55
Какао – порошок	272,7	27
Жиро-магнетитова суспензія (магнетит – 0,05 мас. %;	182	18
Емульгатор – моноацилгліцерол Dimodan HP – 0,70 мас. %;	0,0455	0,009
жир «Віолія» або «Шортенінг» – 99,25 мас.%)	0,637	0,126
	181,32	17,865
Вихід	1000	100

Рецептурні компоненти змішують, після змішування маса подрібноється, потім завантажується в змішувач, додається розріджувач і маса вимішується при температурі 45 – 50 °С протягом 15 хв. Потім холодна маса поступає в емульгатор, де проходить стадія гомогенізації, внаслідок чого маса стає більш однорідною і має найменшу в’язкість. На рис. 5.7 наведена технологічна схема одержання масляно – шоколадної (жирової шоколадної) глазури.

Фізичні показники масляно-шоколадної (жирової шоколадної) глазури: вологість 1,3%, вміст жиру 35%, дисперсність не менше 90%, в’язкість 10 – 13 Па при градієнті швидкості 4,5 с.

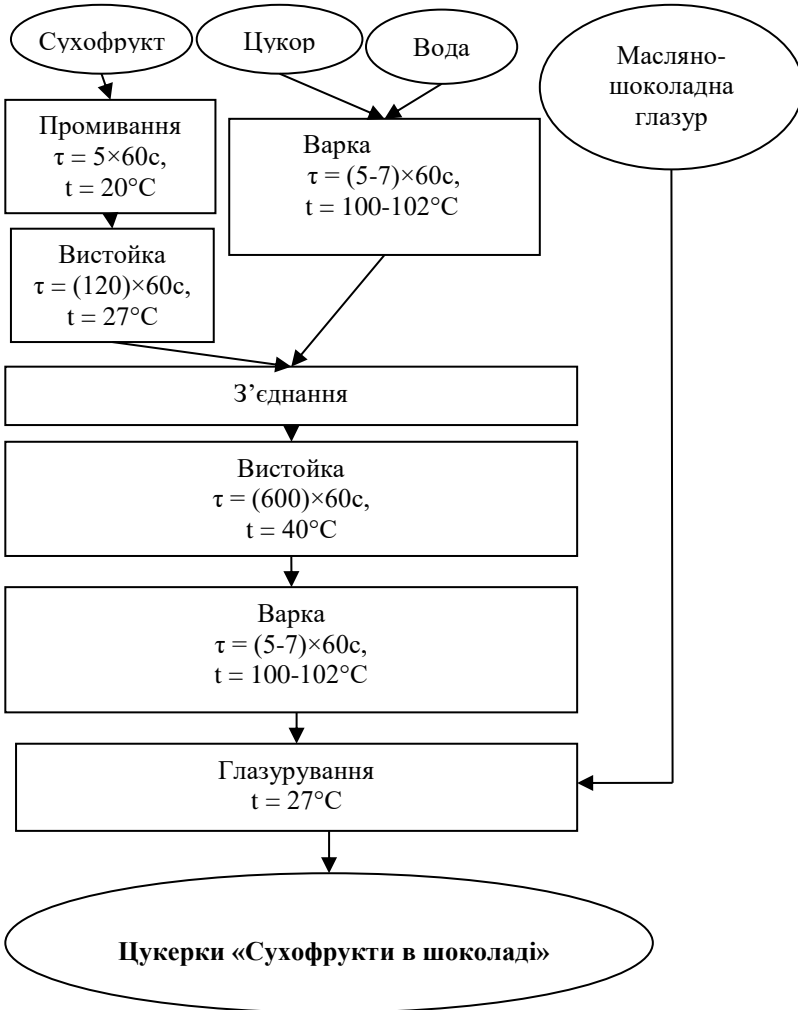
Нижче (рис. 5.8) розглянемо технологічну схему виробництва шоколадних цукерок «Сухофрукти в шоколаді» збагачених залізовмісною антиоксидантною добавкою. Цукерки "Сухофрукти в шоколаді" завжди користуються великим попитом.



**Рис. 5.7.** Технологічна схема одержання масляно-шоколадної (жирової шоколадної) глазури.

Технологічна схема складається з наступних стадій. Після промивання сухий фрукт (наприклад, курагу, чорнослив) заливають теплою водою і залишають на 2 години. Далі у відкритому варильному котлі готують варильний сироп для заливки фрукту. Вологість сиропу повинна бути – 25% – 30 %. Щоб м'якоть фрукта була пружною і не

рвалася при начинці, її заливають теплим (40 °С) сиропом і вистояють 8 – 10 годин, потім сироп зливають, підварюють, завантажують у нього фрукт, підварюють з фруктом 5 – 7 хвилин, відокремлюють сироп і фрукт відправляють на чистку і начинку. Підготовлений фрукт надрізають ножем з одного боку, видаляють кісточку (при її наявності).



**Рис. 5.8. Технологічна схема виробництва цукерок «Сухофрукти в шоколаді», збагачених залізовмісною антиоксидантною добавкою**

Готовий корпус цукерки укладають в решета і вистоюють протягом однієї доби при кімнатній температурі. Глазурування можна виконувати вручну. Глазують корпуси в два прийоми, для того, щоб зберегти овальну форму. Спочатку глазують одну сторону корпусу, після чого охолоджують у холодильній шафі, потім другу сторону. Готові цукерки загортають у фольгу і розфасовують у коробки.

Були проведені органолептичні дослідження цукерок “Сухофрукти в шоколаді” із залізовмісною добавкою магнетиту відразу після отримання та через 45 діб відповідно ДСТУ 4135-2002. Результати органолептичних досліджень наведені в таблиці 7.

Таблиця 5.7

**Органолептичні показники цукерок “Сухофрукти в шоколаді” із залізовмісною антиоксидантною добавкою магнетиту**

Найменування показника	За ДСТУ 4135-2002	Свіжо приготовлені цукерки	Цукерки після 45 діб
Колір	Темно-коричневий	Темно-коричневий, насичений	Темно-коричневий
Запах	Приємний, властивий даному виду цукерок	Приємний, властивий даному виду цукерок	Приємний, властивий даному виду цукерок
Смак	Приємний, властивий даному виду цукерок, без стороннього присмаку	Приємний, властивий даному виду цукерок, без стороннього присмаку	Приємний, властивий даному виду цукерок, без стороннього присмаку
Поверхня	Рівна	Рівна, блискуча	Рівна
Форма	Правильна, без деформацій	Правильна, без деформацій	Правильна, без деформацій

Аналіз табл. 5.7 показав, що органолептичні показники цукерок “Сухофрукти в шоколаді” у часі значно не змінились. Без добавки магнетиту цукерки мають менш яскравий блиск. Виходячи з цих досліджень можна зробити висновок: добавка магнетиту до цукерок “Сухофрукти в шоколаді” приводить до покращення блиску поверхні, тобто до покращення органолептичних показників.

Результати мікробіологічних досліджень шоколадної глазурі та цукерок «Сухофрукти в шоколаді» приведені в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

**Мікробіологічні показники шоколадної глазурі та цукерок  
«Сухофрукти в шоколаді»**

Найменування зразка	КМАФАМ, КОЕ в 1 г	Маса зразку(г), у якому не виявлені	
		БГКП (коліформи)	бактерії роду Salmonella
Шоколадна глазурь	$5 \times 10^3$	0,1	25
Цукерки «Сухофрукти в шоколаді»	$5 \times 10^3$	0,1	25
Цукерки «Фруктовий грильяж »	$5 \times 10^3$	0,1	25

Як видно з приведених даних показник КМАФАМ складає  $5 \times 10^3$  КОЕ/г, що не перевищує допустимого для харчової продукції рівня мікробного обмінування. БГКП не виявлені в 0,1 г зразку, а бактерії роду Salmonella – в 25 г. Отримані дані свідчать про хороший санітарний стан шоколадної глазурі, цукерок «Сухофрукти в шоколаді» підтверджують їх мікробіологічну безпеку і обґрунтовують можливість використання в якості харчової продукції.

### Висновки

1. Розроблено спосіб одержання жиру-магнетитової суспензії (ЖМС) на основі кондитерських жирів «Віолія» або «Шортенінг», який включає дві основні стадії: синтез високодисперсного магнетиту колоїдних розмірів і стабілізація його в жирі. Визначено оптимальне співвідношення компонентів ЖМС – жир:магнетит:емульгатор (ПАР) (в мас.%) = 99,25: 0,05:0,70.

2. Методом центрифугування та спектрофотометрії проведено оцінку стійкості жиру – магнетитових суспензій під впливом різних факторів, таких як час, гравітація, температура (ЖМС виявились стійкими у широкому діапазоні температур: от -6 °С до 100 °С). Дослідження показали, що введення магнетиту в кондитерські жири «Віолія» або «Шортенінг» незначно змінює стійкість суспензій. Середній розмір наночасток в ЖМС склав 78 нм. Фотометричним методом визначена кількість часток у шарі суспензії у часі: через 1 годину конче-

нтрація зменшується на 0,87%, через 24 години – на 18,26%, через 48 годин – на 25,22% і через 45 діб – на 52,17%.

3. Проведені мікроскопічні дослідження з метою встановлення будови часток жиру – магнетитової суспензії та механізму взаємодії її компонентів ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , ПАР, жир), на основі яких були дані рекомендації до способу одержання ЖМС (для того, щоб запобігти злипанню вологих часток магнетиту запропонована стадія пептизації та використання висушеного порошку магнетиту природною сушкою при кімнатній температурі протягом 5 – 6 годин).

4. Визначені такі фізико – хімічні характеристики ЖМС як кислотне, пероксидне, йодне числа:

- для всіх проб ЖМС значення пероксидного числа знаходиться в межах 1,5 – 2,1 ммоль  $\frac{1}{2}\text{O}$ /кг. У кондитерських жирах без добавки магнетиту значення ПЧ більше в середньому на 17 %. Значення пероксидного числа ЖМС при зберіганні не стабільне: спочатку зростає у середньому на 0,7–1,3 ммоль  $\frac{1}{2}\text{O}$ /кг, а потім поступово зменшується – на відміну від безмагнетитових проб у яких ПЧ постійно збільшується.

- для всіх проб ЖМС значення кислотного числа знаходиться в межах 0,23 – 0,28 мг КОН/г. У кондитерських жирах без добавки магнетиту значення КЧ більше в середньому на 21 %. Значення кислотного числа в ЖМС з плином часу поступово зменшується (в середньому на 16 %), в той час як в пробах без магнетиту – збільшується.

- для всіх проб ЖМС значення йодного числа знаходиться в межах 116 – 117,5 г  $\text{I}_2$  / 100 г. Результати експерименту показують, що з плином часу ЙЧ в МЖС зменшується повільніше ніж в кондитерських жирах без магнетиту.

5. Розроблено рецептуру жирової шоколадної (масляно-шоколадної) глазури, збагаченої залізовмісною антиоксидантною харчовою добавкою, для глазурування сухофруктів та технологічну схему її виробництва.

6. Розроблено рецептуру та технологічну схему приготування цукерок “Сухофрукти в шоколаді” на основі жирової шоколадної (масляно – шоколадної) глазури, збагаченої залізовмісною антиоксидантною харчовою добавкою.

7. Досліджено вплив добавки магнетиту на органолептичні та мікробіологічні показники масляно – шоколадної глазури та цукерок “Сухофрукти в шоколаді”. Було встановлено, що внаслідок додавання цієї добавки покращується блиск, а показник КМАФАМ складає  $5 \times 10^3$  КОЕ/г, що не перевищує допустимого для харчової продукції рівня мікробного обмінення. БГКП не виявлені в 0,1 г зразку, а бактерії роду *Salmonella* – в 25 г. Отримані дані свідчать про хороший санітар-



ний стан шоколадної глазури та цукерок «Сухофрукти в шоколаді», підтверджують їх мікробіологічну безпеку і обґрунтовують можливість використання в якості харчової продукції.

### Список використаних джерел

1. Скурихин И.М. *Всё о пище с точки зрения химика [Текст]*. – М.: Высш.шк. – 1991. – С. 33-40.
2. Тютюнников Б.Н. *Химия жиров [Текст]*. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1992. – 448с.
3. МБТ 5061-89 *Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов*.
4. Ковальская Л.П., Шуб И.С., Мелькина Г.М. и др. *Технология пищевых производств[Текст]*. – М.: Колос. – 1999. – 752 с.
5. Шильман Л.З. *Жири у виробництві харчової продукції: монографія* /Л.З. Шильман, І.В. Сімакова та ін. // Під заг. ред. Л.З. Шильмана. – Суми: Університетська книга, 2016. – 278 с.
6. Левачев, М. М. *Новые аспекты биологических качеств пищевых жиров* / М. М. Левачев. – М.: Журнал всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – 1978. – 443 с.
7. *Химия жиров и продуктов переработки жирового сырья* /В. С.Стоцкий. – М.: 1992.— 286 с.
8. Сидзюки *Ото. Порча жиров и масел и способ ее предотвращения [Техт]* // Юкачаку, *J.Jap.Oil Chem. Soc.* – 1989. Vol. 38, №7. – pp.545-552 /РЖХ, 9. – Р. 1247.
9. Демидов, І.М. *Вплив ступеня ненасиченості олій на склад вторинних продуктів їх окиснення [Текст]: тез. доп. Міжнародної науково-технічної конференції «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, оліє-жирової та молочної галузей»* / І.М. Демидов, А.В. Григорова: Україна, м. Київ, 22-23 березня 2012 р. – Київ, 2012 р. – С. 42-43.
10. *Нагорнов, С.А.Техника и технологии производства и переработки растительных масел : учебное пособие [Текст]* / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
11. *Лисицын, А.Н. Некоторые факторы, определяющие стабильность растительных масел к окислению* / Алымова Т.Б., Про-хорова Л. Т. // *Масло-жировая промышленность*. – 2005.- № 3. – С.11-15.
12. Левачев, М. М. *Новые аспекты биологических качеств пищевых жиров* / М. М. Левачев. – М.: Журнал всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – 1978. – 443 с.
13. *Стоцкий, В.С. Химия жиров и продуктов переработки жирового сырья* /В. С.Стоцкий. – М.: 1992.— 286 с.
14. Цихановська, І.В. *Дослідження процесів окиснювальних та термічних перетворень в системі: олія – ліпідо – магнетитова суспензія* [Текст] / І.В.Цихановська, І.М. Демидов, З.В. Барсова, Л.Ф. Павлоцька //

*Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук.пр. – Харків, ХДУХТ, 2015. – вип.. 1 (21). – С. 353 – 362.*

15. Frankel, E. N. *Lipid Oxidation [Text] / E. N. Frankel. – USA: Oily Press, 2005. – 488 p. doi: 10.1533/9780857097927*

16. Carocho, M. *A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives [Text] / M. Carocho, I. C. F. R. Ferreira // Food and Chemical Toxicology. – 2013. – Vol. 51. – P. 15–25. doi: 10.1016/j.fct.2012.09.021*

17. Watson, R. R. *Vegetables, Fruits, and Herbs in Health Promotion [Text] / R. R. Watson. – CRC Press, Boca Raton, Florida, 2002. – 341 p.*

18. Rudall, P. J. *Anatomy of Flowering Plants [Text] / P. J. Rudall. – New York: Cambridge University Press, 2007. – 146 p*

19. Tan, B. *Tocotrienols: Vitamin E Beyond Tocopherols [Text] / B. Tan, R. R. Watson, V. R. Preedy. – CRC Press, Boca Raton, Florida, 2012. – 400 p.*

20. Carocho, M. *A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives [Text] / M. Carocho, I. C. F. R. Ferreira // Food and Chemical Toxicology. – 2013. – Vol. 51. – P. 15–25. doi: 10.1016/j.fct.2012.09.021*

21. Manach, C. *Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies [Text] / C. Manach, G. Williamson, C. Morand, A. Scalbert, C. Rémésy // American Society for Clinical Nutrition. – 2005. – Vol. 81. – P. 230–242.*

22. Исмагилов, Р. Р. Календула [Текст] / Р. Р. Исмагилов, Д. А. Костылев. – Уфа: БГАУ, 2000. – 102 с.

23. Білус, О. В. Розробка комплексного антиоксиданту із екстрактів листя горіху волоського та календули [Текст] / О.В. Білус, І.М. Демидов, С.І. Бухкало // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — Т. 1, № 6 (73). — С. 22–26.

24. Gordon M. H. *Antioxidant activity of flavonoids isolated from licorice: 85 th AOCs Annu [Text] : Meet and Expo, Atlanta, Ga, May 8-12, 1994 / Ail Sing // Inform: Int. New Fats, Oils and Relat. Mater. – 1994. – Vol.5, №4. – P. 519.*

25. Halliwell B. *The characterization of antioxidants [Text] / Aeschbach R., Löliger J., Aruoma O.I. // Food Chem. Toxicol. – 1995. – Vol.33. – p.601.*

26. Цихановская, И. В. О перспективах использования магнетита в качестве биологически активных добавок [Текст] : тез. док. 2-ой между. науч.-тех. конф. / И. В. Цихановская, Т. А. Оноприенко, В. А. Коваленко, В. И. Оноприенко // Химия и технология жиров. Перспективы развития масло-жировой отрасли. – Харьков, НИИ масел и жиров, 2009. — С. 53–54.

27. Ілюха, Н. Г. Технологія виробництва і показателі якості харчової добавки на основі магнетита [Текст] / Н. Г. Ілюха, З. В. Барсова, В. А. Коваленко, І. В. Цихановская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — Т. 6, № 10 (48). — С. 32–35.

28. Денисова А.Ю. Дослідження впливу жиру-магнетитової суспензії на термін зберігання тваринних жирів [Текст] : тез. доп. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 75річчю з дня народження ректора університету (1988-1991рр.), д.т.н, проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ Бєляєва М.І. / И.В. Цихановская И.В., Скородумова О.Б., Гончаренко Я.М., Приймак Г.О., Шевченко І.В. // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг : Харків, 19 листопада 2013 р. – X, ХДУХТ, 2013. – Ч. 1. – С. 71–72

29. Конюшенко И. С. Изучение качества масляно-жировых суспензий на основе магнетита [Текст] : тез. доп. IX Всеукр. конф. молодых ученых та студентів з актуальних питань хімії / И. В. Барсова., 30 травня-2 червня 2011 р. - Дніпропетровськ, 2011. – С. 20

30. Барсова З.В, Цихановська І. В., Шерстюк С.І. Суспензії на основі високодисперсного магнетиту // Збірник наукових праць: Тринадцята наукова конференція «Львівські хімічні читання-2011» .Львів, 28 травня – 1 червня 2011 року. – Львів. – 2011. – С.22.

31. Конюшенко І. С., Барсова З. В., Цихановська І. В. Синтез, фізико-хімічні дослідження і біологічна дія магнетиту на об'єктах *in vivo* // Збірка тез доповідей науково – практичної конференції Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт за напрямком «Хімічна технологія та інженерія». – Донецьк. – 2011. – С. 54 – 57.

32. A. Alexandrov, I. Tsykhanovska, T. Gontar, N. Kokodiy/ Research of sedimentation stability of lipid–magnetite suspensions by the method of spectrophotometry// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Vol 3, No 11(81). – p. 4-11.

33. Пат. на корисну модель № 54284, МПК С 01 G 49/00. Спосіб отримання магнетиту / М. Г. Глюха, З. В. Барсова, І. В. Цихановська, В. П. Тимофєєва, І. О. Ведерникова; заявник та патентовласник Українська інженерно – педагогічна академія. – № 2010 02474; заявл. 05.03.2010; опубл. 10.11.2010. Бюл. № 21. – 4 с.

34. Цихановская, И.В. Изучение растворимости магнетита в условиях, имитирующих пищеварительные процессы желудочно-кишечного тракта / И.В. Цихановская, А.В. Александров, А.Ю. Денисова, О.Б. Скородумова, Е.Я. Левитин, В.А.Коваленко, З.В. Барсова // Восточно – европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2012. – № 6/6 (60). – С.29 – 31.

## Розділ 6/Chapter 6

### Принципи розробки м'ясних та м'ясомістких продуктів в комплексі задач ресурсозбереження

В.М. Пасічний

### Development principles of meat and meat-containing products in problem complex of resource saving

Vasyl Pasichnyi\*

*National University of Food Technology and Trade, Kyiv, Ukraine*

---

**Abstract:** In chapter of monograph it is founded the ways to principles of meat and meat-containing products development in problem complex of resource saving. On the conception basis of appropriate correction of stuff resource quality it is founded basic types of optimization problems and principles of mathematical modeling in development meat and meat-containing products. It is founded the extreme technological contingencies for meat and meat-containing products, that allow to obtain modern quality level. It is represented the requirement for reference models of meat products quality and it is appointed basic products quality modeling stages in the conditions of new sorts of meat products designing, taking into account the technological features to their industrial realization.

It is adduced the method of food mixture quality rank valuation, that allow to determine efficiently the consumer properties of meat products on their designing and producing stage.

**Keywords:** *meat, resource saving, meat-containing products, food matrix quality*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [pasww1@ukr.net](mailto:pasww1@ukr.net)

**Зміст**

- 1. Концепція адекватного корегування якості сировини*
  - 2. Задачі оптимізаційного моделювання*
  - 3. Математичне моделювання рецептурного складу продуктів. Крайові технологічні обмеження*
  - 4. Вимоги до еталонних моделей для розроблення прикладних розрахункових програм*
  - 5. Класифікація комбінованих м'ясопродуктів. Етапи моделювання*
  - 6. Технологічні задачі при розробленні комбінованих м'ясопродуктів*
  - 7. Метод рангового оцінювання якості харчових сумішей*
- Список використаних джерел*

**1. Концепція адекватного корегування якості сировини**

Дані комплексу якісних характеристик сировини м'ясопереробної галузі в умовах реалізації технологічних процесів різної інтенсивності дозволяють узагальнити характер можливих взаємодій сировини і пошук шляхів стабілізації якості продуктів відповідно до концепції адекватного корегування якості сировини.

Концепція адекватного корегування якості сировини базується на принципі врахування комплексу технологічних, реологічних і сенсорних характеристик м'ясної сировини та білковмісних наповнювачів на етапі вибору сировини, оцінки її відповідності технологічній задачі, комплексу показників якості, вибору адекватного способу корегування показників якості, з подальшою стандартизацією технології виробництва і якості готового продукту.

Реалізація даної концепції потребує теоретичного обґрунтування принципів варіаційного моделювання якості сировини, які базуються на ряді постулативних тверджень:

Еталонне значення показників якості сировини для певного виду продукту – це комплекс біологічних, харчових, сенсорних, реологічних і технологічних характеристик, який забезпечує стабільне відтворення нормативних показників якості продукту, що виробляється;

Варіаційність якісних характеристик сировини – це відхилення від еталонного значення показників якості, яка впливає на якість продукту, що виробляється;

Варіаційність технології – це зміна крайових значень технологічних режимів на етапах виробництва або зміна самих етапів;

Варіаційне відхилення якісних характеристик сировини може бути скорегована варіаційністю технології в межах нормативних відхилень якості сировини для певного виду продукту;

На етапах технологічного процесу якісні характеристики продукту змінюються відповідно до варіаційності сировини і технології, а швидкість їх зміни є функцією інтенсивності процесу;

Приведення комплексу показників якості м'ясних та м'ясомістких продуктів до еталонних значень забезпечується на етапі вирішення задачі харчової суміші при розробці рецептур, а також в процесі корегування складу харчової суміші і технології у виробничих умовах, відповідно до варіаційності якості сировини;

Допустимі варіаційні відхилення якісних характеристик сировини є крайовою задачею, в якій швидкість зміни показників якості продукту є критеріально визначеною.

Внаслідок низьких технологічних показників використання м'яса птиці, для заміни яловичини та свинини, у виробництві не можливе без зниження якісних показників цих продуктів. Дана проблема потребує системного вирішення при розробленні відповідних технологій і рецептур м'ясних та м'ясомістких продуктів.

## 2. Задачі оптимізаційного моделювання

Вирішення проблеми більш широкого застосування м'яса птиці, раціоналізації використання субпродуктів і харчового білку в умовах інтенсифікації технологічних процесів передбачає вирішення комплексу задач:

- Класичної рецептурної задачі (задачі харчової суміші): підбору рецептурних складових наповнювачів (тваринного походження – харчової крові, субпродуктів, молочних білків, яйцепродуктів і рослинного походження – борошна, солоду, концентратів та ізолятів бобових і зернових культур, крохмалю, клітковини), а також їх композиційних концентратів (гідролізатів, текстуратів) в сухому (гідратованому) стані і раціонального балансування їх

рецептурних співвідношень з метою стабілізації кількісних і якісних співвідношень поживних речовин харчової суміші (по виду і групі продукту);

- Задача надання необхідної структури та технологічних характеристик продукту: вирішення питання рівня підготовки сировинних ресурсів, необхідності застосування харчових добавок та режимів по-

переднього технологічного впливу, враховуючи інтенсивність режимів в технології, що розробляється та технологічних (економічних) характеристик продукту;

- Задача оптимізації комплексу сенсорних показників. Включає вирішення питання стандартизації органолептичних характеристик (форма, консистенція, колір, смак, аромат, тощо), згідно ДСТУ та технічних регламентів;

- Асортиментна задача. Передбачає раціоналізацію використання сировинних ресурсів, направлену на підвищення рентабельності асортименту, розширенню обсягів використання супутніх продуктів м'ясопереробної промисловості. Орієнтується на забезпечення поживної та технологічної стабільності продукції при заміні частини сировини, з урахуванням об'єктивних межових значень заміни і показників, характерних для продуктів;

- Стандартизація вимог безпечності продукції. Даний комплекс питань вимагає мінімізацію ризиків надходження на ринок споживання недоброякісних продуктів. Це передбачає, врахувавши особливості: підприємства, технології виробництва, епідеміологічний стан сировинної бази, мікробіологічні та токсикологічні характеристики сировини - розроблення умов і принципів забезпечення контролю: сировини, технологічного процесу, готової продукції, її зберігання і реалізації у відповідності з рекомендаціями нормативних документів. Дані рекомендації та система контролю розробляються державними органами, з урахуванням санітарно-епідеміологічних вимог.

При вирішенні задачі оптимізації харчової суміші використовуються комплексні підходи, що базуються на основі знань з теорії збалансованого і адекватного харчування і використання розробленої прикладної програми моделювання і оптимізації харчової суміші, за критеріями, що визначають їх харчову та біологічну збалансованість [12, 13, 18, 23, 34–36].

### 3. Математичне моделювання рецептурного складу продуктів. Крайові технологічні обмеження

Математичне моделювання та оцінка за критеріями мінімізації відхилення модельного складу суміші від еталонних значень поживних елементів, що оптимізується дозволяє збалансувати калорійність продукту, забезпечити якість білкового, жирнокислотного складу, комплексу мінеральних речовин, оцінити рівень вітамінного комплексу суміші.

Принципи, закладені в основу математичного моделювання, визначення діапазону варіювання сировинних компонент передбачає накладання попередніх технологічних обмежень по максимальному і мінімальному представленню сировинної компоненти в рецептурі.

Рецептури оптимізують з метою наближення вмісту НАК білкової композиції до шкали ФАО/ВООЗ. Для розрахунків СКОР<sub>а</sub> j-ї амінокислоти в n-компонентній системі використовувалося рівняння:

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i \cdot c_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i} \cdot 100, \% \quad (6.1)$$

де  $C_j$  – СКОР j-ї амінокислоти, %;  $x_i$  – вміст i-того компоненту в рецептурі, доля одиниць;  $P_i$  – вміст білка в i-тому компоненті, %;  $C_{ij}$  – СКОР j-тої амінокислоти в i-тому компоненті рецептури, %.

При складанні рецептури вибирається до десяти (оптимально три – шість) видів основної сировини, з груп сировинних ресурсів, рекомендованих згідно нормативних документів і систематизованих за походженням та харчовою цінністю (м'ясо, субпродукти, м'ясо птиці, яєчні продукти, овочі, продукти перероблення крові, молочні продукти, продукти перероблення зернових та бобових, рибопродукти, продукти рослинництва, жирові продукти, білкові концентрати харчові, харчові композиції). Складові рецептури повинні мати діапазон технологічних обмежень. Розрахунки проводяться ЕОМ з урахуванням матеріального балансу:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 100, \quad (6.2)$$

де n – кількість складових рецептури,  $x_i$  – частка i-ї складової в рецептурі, %.

Під час розрахунків використовується створена і систематизована електронна база якісного і кількісного вмісту поживних, мінеральних речовин та вітамінів групи сировинних компонентів.

Для розрахунків збалансованості білків вводяться обмеження:

- на використання сировини у загальному вигляді:

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad (6.3)$$



де  $x_i^{\min}$ ,  $x_i^{\max}$  - мінімальна та максимальна кількість і-того компонента, %;

- на вміст амінокислот у порції або 100 г продукту:

$$LG \cdot C_{j \min}^{\min} \leq \sum_{i=1}^n x_i \cdot G_j \leq LG \cdot C_j^{\max} \quad , \quad (6.4)$$

де  $G$  – загальна маса, підготовленої до розфасування сировини, кг;  $L$  - коефіцієнт, що втрачає (вихід) маси під час перероблення сировини;  $C_j^{\min}$ ,  $C_j^{\max}$  – мінімальний та максимальний вміст j-ї амінокислоти, %;

- максимальну кількість комбінацій з компонентів:

$$\sum_{j=1}^k N_j \leq b_j \quad , \quad (6.5)$$

де  $b_j$  – максимальна кількість комбінацій з обраних компонентів.

- визначаються мінімальні ( $\min$ ) та максимальні ( $\max$ ) значення вмісту вологи ( $W$ ), білка ( $B$ ) і жиру ( $Ж$ ):

$$GL \cdot Ж^{\min} \leq \sum_{i=1}^n Ж_i x_i \leq GLЖ_{\max} \quad (6.6)$$

$$GL \cdot B^{\min} \leq \sum_{i=1}^n B_i x_i \leq GLB_{\max} \quad (6.7)$$

$$GL \cdot W^{\min} \leq \sum_{i=1}^n W_i x_i \leq GLW_{\max} \quad , \quad (6.8)$$

де  $Ж_i$ ,  $B_i$ ,  $W_i$  – вміст відповідно жиру, білка і вологи у і-му виді сировини, %;  $Ж_{\min}$ ,  $B_{\min}$ ,  $W_{\min}$ ,  $Ж_{\max}$ ,  $B_{\max}$ ,  $W_{\max}$  – мінімальний та максимальний вміст жиру, білка та вологи в моделі продукту (згідно вимог моделі до вмісту).

Вибір кількості компонентів для КМ із декількох прийнятних варіантів здійснюється шляхом мінімізації вартості сировини за співвідношенням:

$$C = \sum_{i=1}^n Ц_i \cdot x_i \rightarrow \min \quad , \quad (6.9)$$

де  $C$  – витрата сировини на одиницю продукції (кг, банка, порція), грн;  $Ц_i$  – фактична ціна і-того компоненту в рецептурі, грн;  $x_i$  – приведена до виходу маса і-того компоненту в рецептурі, кг;  $n$  – кількість компонентів, що увійшли до рецептури (кількість визначених основних компонентів на початку розрахунків не змінюється).

#### 4. Вимоги до еталонних моделей для розроблення прикладних розрахункових програм

Розроблена (вибрана) еталонна модель, відносно якої проводиться оцінка за критеріями якості, враховує нормативні рекомендації, характерні значення комплексу поживної цінності - мінімально допустимого вмісту білку, максимального вмісту вологи, жиру, вуглеводів, а також кількісні співвідношення поживних речовин, рекомендованих медиками.

Розроблене програмне забезпечення передбачає вирішення завдань:

- оптимізації білкового складу за СКОР амінокислотного складу по вмісту незамінних (НАК) і замінних (ЗАК) амінокислот, сумарним вмістом циклічних та сірковмісних амінокислот, якісних співвідношень НАК до ЗАК, НАК до загального білка, співвідношень триптофану до оксипроліну, загального вмісту білку до вологи, калорійну цінність по білку;

- оптимізація складу жирів за СКОР до еталону за загальним вмістом триглицеридів (МНЖК, НЖК, ПНЖК), фосфоліпідів, холестерину, лінолевої, ліноленової, арахідонової кислот, співвідношення МНЖК – НЖК – ПНЖК, лінолевої до ліноленової кислот, жиру до вологи в продукті, білку до жиру, калорійну цінність по жиру. Враховуються оптимальні для вибраного продукту і наявний в сировині вміст цих речовин;

- відносна оптимізація складу основних мікроелементів з мінімізацією відхилення від еталону та їх якісних співвідношень (фосфору до кальцію, кальцію до магнію і фосфору, калію до натрію), тощо;

- відносна оптимізація складу мікроелементів у відповідності з рекомендаціями медиків в першу чергу по вмісту заліза, йоду, селену [30, 31];

- оптимізація складу вітамінів та провітамінів [29, 30, 31], як речовин, що сприяють асиміляції білкових речовин продукту та виконують функцію антиоксидантів [22].

Частка рослинних наповнювачів, що вміщують вуглеводи в складі продуктів обмежена стандартами. Введення вуглеводів не призводить до біологічного збагачення комбінованих м'ясопродуктів і викликане технологічними і комерційними завданнями [9, 21, 37, 42, 43]. Для м'ясопродуктів оптимізація складу вуглеводів передбачає їх раціональну мінімізацію.

Методами математично статистичного аналізу досягається мінімізація значення комплексного критерію розбалансованості амінокислотного складу КРАС [13, 18, 19, 33–36], мінімізація розбігу між максимальним і мінімальним значення СКОР по НАК і ЗАК за критерієм Delta [19, 23, 24, 32]. В процесі оптимізаційного моделювання для значень СКОР вводиться верхнє і нижнє межове значення, що дозволяє задавати реально допустиму межову лімітованість СКОР (згідно рекомендацій СКОР повноцінного продукту не може бути менше 70% для НАК) [28].

На етапах оптимізаційного моделювання з вибраного комплексу сировинних відбираються компоненти, які найбільш ефективно впливають на значення критерію якості. Це дозволяє максимально швидко досягти раціонального рецептурного співвідношення між вибраними сировинними компонентами.

У випадку неможливості досягнення необхідного рівня відповідності еталонній моделі на основі аналізу максимального і мінімального впливу сировинної компоненти на елемент оптимізації приймається рішення про виключення (заміну) в рецептурі сировинної компоненти.

Такий підхід накладання характеристик технологічної та харчової відповідності компонентів рецептури дозволяє не тільки вирішувати класичну рецептурну задачу розробки комбінованих м'ясопродуктів, а й з урахуванням технологічних обмежень, вирішувати комплекс завдань асортиментної задачі та надання необхідних СМВ та технологічних характеристик продукту.

Залежно від типу сировини, методів і режимів технологічного впливу, виду обладнання, що використовуються, харчових добавок, білоквмісних і безбілкових наповнювачів якісні показники продукції, яка виробляється по одним і тим же рецептурам можуть мати відхилення.

## 5. Класифікація комбінованих м'ясопродуктів. Етапи моделювання

Причина таких відхилень і шляхи підвищення якості комбінованих м'ясопродуктів (КМ) вимагають класифікації самих комбінованих м'ясопродуктів.

Комбіновані м'ясопродукти класифікуються на м'ясні і м'ясомісткі з урахуванням:

- біологічної цінності (суперпозиційне врахування цінності і специфічності комплексу сировини, що використовується);

- походження основних сировинних ресурсів, типу м'ясної сировини і наповнювачів та кількості харчових добавок, що використовуються у виробництві;
- харчового призначення, по групі споживачів;
- типу текстуроформуючих добавок, і вибраних технологічних режимів оброблення сировини;
- типу поліпшувачів, що використовуються та можливого впливу на якість виробу біохімічних і теплофізичних процесів в технології виготовлення.

Розроблення нових комбінованих м'ясопродуктів, а також продуктів на м'ясній основі передбачає етап моделювання умов: створення вхідної моделі розподілу матеріального потоку, згідно вимог, що висуваються до основної сировини, фаршевії (паштетній) емульсії, готового виробу. Врахування особливостей в технології виготовлення, завдяки якій комплекс сировинних компонентів харчових сумішей, з визначеними показниками харчової та енергетичної цінності отримує новий харчовий та споживчий статус – збалансований КМ.

Узагальнений комплекс технологічних операцій розроблення і виробництва комбінованих м'ясопродуктів може бути представлений у вигляді наступного алгоритму (Рис. 1), що представляє процес виробництва наступними етапами:

**Перший етап.** Визначення вхідних характеристик сировини, згідно вимог технології виготовлення КМ та вибір і розподіл основного матеріального потоку, з урахуванням варіаційного відхилення хімічного складу сировини (для рослинної сировини: сортність, область і країна районування, для тваринної сировини: вид тварин, порода, сезонність надходження, вік, стать, тип відгодівлі та вгодованість), категорію і сортність, які впливають на технологічні показники: рН, буферну ємність, термолабільність та теплофізичні характеристики, мікробіо-логічну стійкість, структурованість та однорідність, ступінь та умови попередньої деструкції (м'ясо від дообвалювання птиці та худоби, характеристик ріжучих механізмів та обладнання), часу надходження (парне, остигле, охолоджене, заморожене м'ясо та субпродукти), доступністю ферментним системам травлення. Крім того враховується технологічна сумісність сировини. Етап передбачає мінімізацію відхилень комплексних показників якості від вимог, що регламентуються технологією і нормативними документами ( $Y_c - Y_{kc} \rightarrow \min$ ), де  $Y_c$  – показник якості сировини,  $Y_{kc}$  – показник якості в еталонному (вибраному) варіанті.

**Другий етап:** включає наведення технологічних характеристик якісних показників основної сировини (необхідних технологічних

фабрикатів) на стадії її попередньої технологічної підготовки для виробництва КМ.

Данні технологічні операції на підготовчому етапі можуть включати:

- для м'ясної сировини нормалізацію температурного стану (охолодження, підморожування, розморожування), зачистку, розбирання, обвалювання, знежилювання, нарізання, сортування, дообвалювання (сепарування) кісток; наведення технологічних характеристик в процесі автолізу (визрівання), соління, з використанням методів інтенсифікації (регулювання температури процесу, ступеня подрібнення, використовуючи шприцювання, масування, вакуумування, ферментацію, введення стартових культур і харчових добавок).

- для субпродуктів комплекс заходів для наведення мікробіологічної стабільності та функціональної технологічності, що може включати розморожування, промивання (зачищення), знежилювання, первинне подрібнення, гідростатичну витримку, ферментацію [6, 14, 45]; холодну гідратацію з введенням харчових добавок [46]; теплове оброблення (бланшування, варіння, тощо), або комбінування методів підготовки [17, 20, 40].

- для продуктів тваринного походження - крові і продуктів її перероблення, молочних і яєчних продуктів стандартизацію показників якості у відповідності з технологічними інструкціями по їх використанню.

- для продуктів рослинного походження – круп, борошна, ізолятів, кон-центратів, текстуратів нормалізацію технологічної відповідності: просіювання, знезараження, заварювання, емульгування, утворення гелю, набухання, тощо.

- для жирової сировини - емульгування або розтоплення.

На етапі підготовки технологічних фабрикатів визначаються необхідність використання технологічних добавок і методів оброблення у відповідності з рекомендаціями по напряму використання напівфабрикату.

**Третій етап.** Виробництво м'ясних фабрикатів та комбінованих харчових сумішей для закінчення (доведення до готовності продукту) передбачає підготовку білкового стабілізатора (БС), білково-жирової емульсії (БЖЄ), композиційних паст, фаршевої основи, тощо. Це потребує проведення процесів деструкції сировини або формування структури і утворення тонкої або грубо-дисперсної системи складного типу та подальше формування фаршевої (паштетної) маси або м'ясного фабрикату: шприцювання, осадження для ковбасних виробів, надання форми: формовку, підпресовування, підпетлювання для соле-

них м'ясопродуктів, порціонування (заповнення форм) для консервів, продуктів запікання, тощо. Етап передбачає мінімізацію відхилень комплексних показників якості емульсії (складу, однорідності, ступеня подрібнення, значень ВЗЗ, ЖУЗ, рН, БС, необхідного заданого комплексу СМВ, вартості за кг емульсії, наявності або відсутності відділеного жиру (бульйону, желе), маси одиниці виробу, інших вимог, що регламентуються нормативними документами ( $Y_e - Y_{ke} \rightarrow \min$ ), де  $Y_e$  – показник якості фабрикату,  $Y_{ke}$  – показник якості в еталонному (вибраному) варіанті.

**Четвертий етап.** Передбачає закінчення процесу виготовлення продукту, з доведенням його до готовності з дотриманням вимог НД, які визначені для даної групи м'ясних або м'ясомістких продуктів.

Четвертий етап передбачає використання низько та високотемпературних режимів теплового оброблення або сушіння, які ведуть до зміни дисперсного стану системи, перерозподілу концентраційних полів речовин, що складають основу фаршевого фабрикату, зменшенню кількості біологічно-активних речовин, деструкційним, змінам білкових речовин, частковій гідратації (або зневодненню) білків, окисленню і гідролізу жирів, зміні буферної ємності системи, тощо.

Етап нагрівання (обжарювання, варіння, копчення, запікання, стерилізація, пастеризація, смаження, охолодження, заморожування, тощо), забезпечує відмирання вегетативних форм мікроорганізмів для ковбасних виробів, промислово стерильність для консервів, закінчення процесу виробництва напівфабрикатів і передбачає мінімізацію відхилення комплексних показників якості теплового оброблення відносно вимог, що регламентуються нормативними документами.

Урахування харчових, органолептичних, мікробіологічних характеристик, стану кулінарної готовності, часу зберігання продуктів мінімізується відхилення ( $Y_t - Y_{kt} \rightarrow \min$ ), де  $Y_t$  – показник якості теплового оброблення,  $Y_{kt}$  – показник якості теплового оброблення в еталонному варіанті.

Кожна складова технологічного алгоритму включає в себе перелік технологічних операцій, які своїм різноманіттям створюють весь спектр якісних відмінностей продуктів, що виготовляються м'ясопереробною промисловістю і може бути використаний в розробленні КМ з заданими характеристиками.

Корегування технології виробництва КМ у випадку не відповідності вхідної сировини або недостатньої технологічної відповідності передбачає стабілізацію показників якості основної сировини за допомогою біохімічних та фізико-хімічних методів оброблення [1, 6, 7, 11, 15, 16, 38, 39, 41]. Стабілізуючи СМВ, технологічні, та сенсорні хара-

ктеристики системи (значення рН, буферна ємність, ВЗЗ, ВУЗ, ЖУЗ, термолабільність, мікробіологічну стабільність, в'язкість, стійкість емульсії, тощо) за допомогою розроблених харчових сумішей, формуючих текстуру білоквісних і безбілкових наповнювачів та харчових добавок на кожному етапі організації технологічного алгоритму виробництва досягається забезпечення стабільної якості комбінованих м'ясопродуктів.

Величина корегування технологічних режимів залежить від сумісності факторів, які здатні забезпечити фабрикату відповідність комбінованого м'ясопродуктів вимогам нормативних документів за показниками безпечності.

Вплив технологічних режимів на якісні показники м'ясопродуктів, втрати при термообробці вологи та поживних речовин, ступінь денатурації та часткового гідролізу білку і жиру, комплекс органолептичних характеристик залежать від виду сировини, що використовується, лабільності її білків до впливу температури, зміні рН середовища, умов і часу зберігання. У комбінованих ковбасних виробів технологічні можливості, щодо структурування готового продукту, підвищуються завдяки корегуванню стану його подрібнення і наявності достатньої кількості формуючих текстуру наповнювачів [10, 15, 16, 45].

Для отримання збалансованих за поживною і харчовою цінністю комбінованих м'ясопродуктів з максимальним виходом і рентабельністю необхідно мати дані не тільки по волозі, жирності і рН основної вхідної сировини, але й оптимальні параметри консистенції фаршу його: ВЗЗа, пластичність, лабільність і сумісність рецептурних складових до умов проведення теплових процесів, моделювати параметри якості комбінованих м'ясопродуктів з високою корелятивною відповідністю.

Різна лабільність сировини до впливу термічних режимів при виробництві комбінованих м'ясопродуктів в умовах теплового оброблення потребує приведення вхідної сировини до сталої відповідності технологічним режимам, інакше комбіновані м'ясопродукти набувають показників, що не відповідають технологічним вимогам, показникам якості і харчової цінності.

Тому при розробленні технологій проводиться оптимізаційний обрахунок м'ясних та м'ясомістких продуктів, що розробляються по рівням визначених критеріїв (еталонних характеристик) для групи продуктів на етапах забезпечення якості продукту. Стабілізується якість технологічних характеристик основної сировини та наповнювачів - дисперсність фаршевої емульсії, рівень гідротермічного розварю-

вання білків на етапі теплового оброблення, для отримання стабільних (стандартизованих) характеристик.

### 6. Технологічні задачі при розробленні комбінованих м'ясопродуктів

Таким чином розроблення стабільних за якістю продуктів передбачає вирішення комплексу технологічних задач:

- організації рівноцінних заміни основної сировини, вибору типів білоквмісного наповнювача (поліпшувачів), адаптації технологічного процесу до конкретного підприємства по заданій технологічній схемі;

- регламентації введення стабілізуючих систем з можливістю виробничої кореляції якості стабілізаторів з урахуванням коливання технологічних показників сировини та вирішення задачі посилення (стабілізації) смаку, кольору, забезпечення оптимальних виходів продукту, показників харчової і біологічної цінності, СМВ і органолептичних характеристик та відповідності вимог безпечності продукту за мікробіологічними і токсико-епідеміологічними характеристиками [8];

- уніфікації стабільної якості продукту з розробленням елементів керування технологічним процесом, відповідно з вибраною системою сертифікації та використанням НАССР [44];

- стандартизації якісного складу поживних речовин на етапі розроблення рецептур продукту по комплексу основних поживних речовин;

- створення умов маркетингової рівноваги (обсягів виробництва), забезпеченого сировинною базою, широким асортиментом продукції та економічних характеристик продуктів, що розробляються, в системі взаємодій ціна – якість, рентабельність – якість – доступність стандартизованої сировини.

Обрахунок споживчої вартості комбінованих м'ясопродуктів, з урахуванням зростання їх кількості у кожній асортиментній групі, дозволяє оцінити якість продуктів за комплексом показників харчової цінності, органолептичними показниками та відносною ціною продукту, по асортиментній групі.

Розроблене і впроваджене в навчальний процес на кафедрі технології м'яса і м'ясних продуктів НУХТ програмне забезпечення розрахунку і оптимізації хімічного складу рецептур харчових продуктів, дані літературних джерел з хімічного складу м'ясних продуктів [27, 33] та отримані з підприємств галузі дані дозволяють порівняти відповідність продуктів, що виробляються еталонним значенням по вмісту есенціальних речовин, відповідно з рекомендаціями ФАО/ВООЗ [27].



Рангове порівняння за допомогою математичних (розрахункових) методів оптимізації харчових сумішей передбачають балансування есенціальних речовин, що визначають біологічну цінність продукту [13, 15, 25, 26, 34...36] та біологічну ефективність.

Як найбільш зважений розрахунковий критерій якісної збалансованості білка слід виділити критерій КРАС, запропонований у 80-х роках минулого сторіччя М.П. Черніковим критерій КРАС [34...36]:

$$\text{КРАС} = \frac{\sum_{i=1}^8 (\text{ССКО}_{\text{НАК}i} - \text{СКОР}_{\text{НАКmin}})}{8 \cdot 100}, \quad (6.10)$$

Цей критерій визначає комплекс розбалансованості незамінних амінокислот (НАК) відносно найбільш лімітованої за СКОР НАК і характеризує їх потенційну біологічну цінність – БЦп.

$$\text{БЦп} = 1 - \text{КРАС} \quad (6.11)$$

За М.П. Черніковим, зв'язок між БЦп та фактичною біологічною цінністю – БЦф корелюється коефіцієнтом компенсації К, який показує частку участі організму у виправленні амінограми білка харчового продукту за рахунок фонду НАК та зниження їх катаболізму.

$$\text{БЦп} = 1 - \text{КРАС} + \text{К} \quad (6.12)$$

М.П. Черніков акцентує увагу тільки на біологічному аспекті споживання (балансування) суми білків, що не дає змоги провести комплексну класифікацію харчових продуктів та їх можливих сумішей. Не зрозуміла природа корелятивності коефіцієнтів компенсації, а принцип суперпозицій за його класифікацією спрацьовує лише у першому наближенні.

Корелятивний коефіцієнт компенсації зумовлений насамперед тим, що критерій КРАС не повною мірою враховує правило Мітчелла [29], яке говорить, що рівень засвоєння есенціальних амінокислот за пластичним типом асиміляції визначається амінокислотою, що найбільш лімітована і всі НАК засвоюються на її рівні, а весь надлишок есенціальних речовин іде за енергетичним типом асиміляції [30, 34...36].

Класифікація харчових білків, яка базується на системі виявлення дійсної біологічної цінності харчового продукту, дає велику

розбіжність корелятивних коефіцієнтів компенсації в одній і тій же визначеній групі "подібних білків". Це пов'язано з недостатнім урахуванням структурної організації – дисперсності харчових продуктів, швидкості й кількості надходження у вільному вигляді нутрієнтів їжі в систему травлення організму людини, а також каталізуючої дії мікроелементів харчової суміші на дію ферментів травлення [29, 30, 34, 36].

Варіації в хімічному складі, рівень кислотності середовища композиційної суміші також впливають на здатність до перетравлення продуктів [29, 30, 35, 36]. Тому треба визначати коефіцієнт компенсації щодо розрахованої, через КРАС біологічної цінності продукту як функціонального критерію. Цей критерій відображає зв'язок структурних, фізико-механічних показників дисперсності, збалансованості за життєво важливими елементами їжі (якими є білковий, жирно кислотний, вуглеводний, мінеральний і вітамінний комплекси, що моделюються) та їх доступності до асиміляції в організмі людини, яке з урахуванням кількості варіаційних факторів впливу, є проблематичним.

## 7. Метод рангового оцінювання якості харчових сумішей

Нами запропоновано метод рангового оцінювання якості харчових сумішей і, зокрема, комбінованих м'ясопродуктів в якому використаний багаторівневий підхід визначення харчової і біологічної цінності продуктів уточненням коефіцієнта компенсації на рівнях збалансованості НАК, хімічного складу харчової суміші та доступності нутрієнтів їжі до ферментації.

На першому рівні за комплексним критерієм  $A_1$  визначається коефіцієнт корисної дії комплексу НАК за здатністю забезпечити пластичну функцію білками, що містяться в композиційній суміші. Критерій  $A_1$  включає описаний вище критерій  $KPAC$  і додатковий критерій  $Delta$ . Критерій  $Delta$  – це критерій, що враховує розбалансованість амінокислотного СКОРу між найбільш лімітованою та надлишковою НАК і дає змогу уточнити коефіцієнт компенсації  $K$  на рівні збалансованості харчової суміші за НАК:

$$Delta = (СКОР_{НАК_{max}} - СККО_{НАК_{min}}) / 100, \quad (6.13)$$

$$A_1 = 0,6 (1 - KPAC) + 0,4 (1 - Delta) \quad (6.14)$$

Критерій  $A_1$  (рівняння 14) дозволяє інтегрально оцінити збалансованість саме есенціальних речовин білків. Задана вагомість критері-

їв *KPAC* і *Delta* наближає розрахункове значення  $A_1$  до фактичного значення БЦ продуктів.

На другому рівні уточнюється комплексний коефіцієнт компенсації  $K$  за критерієм  $A_2$ . Критерій  $A_2$  визначає збалансованість фізіологічно енергоємних речовин харчової суміші, якісні співвідношення есенціальних і не есенціальних амінокислот, есенціальних жирних кислот та оптимальні співвідношення макро- і мікроелементів у вигляді безрозмірних критеріїв  $D_1 \dots D_{12}$  рангового оцінювання з умовно ідеальною харчовою сумішшю (з ідеальним співвідношенням для даної видової групи продуктів), аналогічно з обрахунком СКОР для НАК.

$$A_2 = \sum m_i \times D_i, \quad (6.15)$$

Вагомості безрозмірних критеріїв для визначення  $A_2$  задаються з урахуванням специфіки рецептурного складу КМ і можуть змінюватися залежно від впливу на коефіцієнт компенсації збалансованості хімічного складу харчової суміші та технології виробництва. Якісний критерій  $D_1$  враховує співвідношення між мононенасиченими жирними кислотами (МНЖК) і загальною сумою жирних кислот (ЖК) у 100 г продукту порівняно з рекомендованими співвідношеннями і реальними можливостями сировини.

Критерій  $D_2$  враховує співвідношення між насиченими жирними кислотами (НЖК) і загальною сумою (ЖК) у 100 г продукту порівняно з рекомендованими медиками співвідношеннями до даної групи продуктів і реальними можливостями сировини, що використовується.

Критерій  $D_3$  враховує співвідношення між поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК) і загальною сумою (ЖК) у 100 г продукту порівняно з рекомендованими для групи продуктів співвідношеннями.

Критерій  $D_4$  враховує співвідношення між сумою замінних амінокислот (ЗАК) і сумою незамінних амінокислот (НАК) порівняно з оптимальним співвідношенням для м'ясопродуктів, що дорівнює 0,6.

Критерій  $D_5$  враховує відношення суми сірковмісних амінокислот (метіоніну і цистину) до оптимального вмісту в 1 г ідеального білка цих амінокислот.

Критерій  $D_6$  враховує відношення суми циклічних амінокислот (тирозину і фенілаланіну) до оптимального вмісту в 1 г ідеального білка цих амінокислот.

Критерій  $D_7$  враховує співвідношення білка і жиру порівняно з рекомендованим співвідношенням, яке залежить від видової групи продукту, виду сировини, що використовується [3...5].

Так, для варених ковбас це співвідношення дорівнює  $1 : 1$ , для паштетів –  $1:1,5...2,5$ , для копчених ковбас –  $1,0:1,5...2,0$ .

Критерій  $D_8$  враховує співвідношення білка до води, порівняно з оптимальним співвідношенням, яке залежить від видової групи продукту. Так, для варених ковбас воно дорівнює  $1:4$ , для паштетів –  $1:3$ , для копчених ковбас –  $1,0:1,0...2,5$ , залежно від виду сировини, що використовується і нормованого виходу даних груп продуктів [3...5].

Ці вісім якісних критеріїв підводять до одного рангового знаменника комплекс показників якості жирів (критерії  $D_1, D_2, D_3$ ), комплекс показників якості білка (критерії  $D_4, D_5, D_6$ ), якісні співвідношення макроелементів (критерії  $D_7, D_8$ ), що визначають збалансованість структуроутворюючих функціональних макроскладових харчової суміші [2, 3...5].

Критерій  $D_9$  враховує співвідношення триптофану і лізину порівняно з вмістом в 1 г ідеального білку, яке рекомендовано як  $1 : 3...5$  [30, 32].

Критерій  $D_{10}$  враховує співвідношення триптофану і суми сірко-вмісних амінокислот порівняно з оптимальним співвідношенням в 1 г ідеального білку, яке рекомендовано як  $1:2...4$  [30, 32].

Критерій  $D_{11}$  враховує співвідношення триптофану і треоніну порівняно з оптимальним співвідношенням в 1 г ідеального білку, яке рекомендовано як  $1:2...3$  [30, 32].

Критерій  $D_{12}$  враховує співвідношення триптофану і лейцину порівняно з оптимальним співвідношенням в 1 г ідеального білка, яке рекомендовано як  $1:4...6$  [30, 32].

Крім цих критеріїв, на другому рівні рангового оцінювання можуть бути використані співвідношення по мікроелементам, що визначають осмотичний тиск у клітинних мембранах (калію і натрію), фосфорорганічних та мінеральних речовин (кальцію і фосфору, кальцію і магнію), вміст заліза, йоду, селену, міді, інших мікро нутрієнтів харчових сумішей, які можуть бути специфічно важливими за призначенням (лікувального, лікувально-профілактичного, специфічно-реабілітаційного, ентогеродієтичного, тощо) продукту.

Вибір додаткових критеріїв визначається умовами забезпечення балансу між речовинами, що мають енергетичну, каталітичну, протианемічну і пластичну цінність у відповідності з рекомендаціями медиків. Крім того необхідно враховувати технологічні особливості виготовлення і базуватись на вимогах НД. Останні нормують фізико-хімічні показники готових виробів.

Повне уявлення про біологічну і харчову цінність КМ визначається на рівні третього комплексного критерію рангового оцінювання

$A_3$ , що враховує значення критеріїв  $A_1$ ,  $A_2$  та показник доступність складових системі травлення - комплексний критерій  $D_{per}$ .

$$A_3 = 0,4D_{per} + 0,3A_1 + 0,3A_2, \quad (6.16)$$

Критерій  $D_{per}$  враховує доступність есенціальних речовин дії ферментів кишково-шлункового тракту. Ці ферменти визначають ферментативну специфіку дії протеолітичних ферментів людини на пептидні зв'язки конформацій молекул рослинних і тваринних білків [26, 35, 36]. Критерій  $D_{per}$  визначає аліментарну специфіку суми білків [26, 33, 35]. Його вагомість визначена за середнім значенням корелятивних коефіцієнтів білоквмісної сировини і дорівнює в системі оцінювання 0,4.

Комплексні рангові критерії  $A_1$  і  $A_2$  визначення структури якості білоквмісної сировини і технологічних співвідношень інгредієнтів практично рівнозначні, тому з певною ймовірністю їм надана однакова рангова вагомість.

Обчислення першого, другого і третього рівнів рангового оцінювання дозволяє визначити дійсну біологічну і харчову цінність КМ, в порівнянні з ідеальною харчовою сумішшю за шкалою ФАО\ВООЗ [15, 29, 30], або прийнятим за еталон типом продукту.

Однак для споживача, крім харчової цінності продукту, існує таке поняття, як споживчий попит, що визначається необхідністю і здатністю споживача купити «одиницю харчової цінності» продукту, а також згідно специфіки особистого уявлення споживача про якість продукту, яку можна умовно узагальнити терміном “органолептична оцінка”.

Для визначення комплексної споживчої цінності комбінованих м'ясопродуктів запропоновано четвертий комплексний критерій рангового оцінювання  $A_4$ , що враховує узагальнену харчову цінність за критерієм  $A_3$  з вагомістю 0,4, рівний йому за вагомістю відносний критерій комплексної органолептичної оцінки  $D_{org}$  - відношення реальної бальної оцінки серійної продукції до еталонного значення (для м'ясопродуктів за прийнятою п'ятибальною чи дев'ятибальною шкалою) і відносний ціновий критерій  $D_{price}$  (6.18), який визначає, наскільки ціна КМ відрізняється від дійсної середньої харчової цінності по регіону для видової групи КМ до якої він належить.

$$A_4 = 0,4 A_3 + 0,4D_{org} + 0,2D_{price}, \quad (6.17)$$

де  $D_{org}$ = (середня органолептична оцінка / (5 або 9))

$$D_{price} = \frac{C_c - (C_p - C_c)}{C_c}, \quad (6.18)$$

де  $C_c$  – середня ціна для видової групи (частіше ціна першого сорту), в торгівельній мережі грн.;  $C_p$  – ціна КМ в торгівельній мережі, грн.

Якщо ціна продукту перевищує середню ціну у видовій групі, до якої він належить, то критерій  $D_{price}$  буде меншим за одиницю на величину відносного збільшення його ціни. Якщо ж ціна продукту менша за ціну, середню у групі, то критерій  $D_{price}$  буде на це відносне зменшення більшим за одиницю.

Критерій  $D_{price}$  дозволяє зводити в певних межах ранг споживчої цінності продукту до середньої споживчої цінності групи і дає уявлення про те, наскільки ціна продукту відповідає групі, до якого належить цей продукт.

Алгоритм рангового оцінювання подібний до кваліметричного оцінювання із зведенням рангової оцінки до відносного безрозмірного комплексного критерію  $A_4$ , який визначає комплексну споживчу вартість комбінованого м'ясопродукту з заданими характеристиками.

Запропонована методика комплексного рангового оцінювання дає можливість уніфікувати задачу обрахунку харчової і споживчої цінності комбінованих м'ясопродуктів в порівнянні з іншими по заданій асортиментній групі.

Аналіз значень критеріїв якості КРАС і Delta дозволив зробити висновок про підвищення збалансованості НАК ковбас до складу яких поряд з тваринною сировиною введена білоквісна рослинна сировина. Однак поєднання білків рослинного і тваринного походження збільшує лімітованість білка по лімітованій НАК (критерій  $SKOR_{min}$ ), а з урахуванням доступності білків до засвоєння ( $D_{per}$ ), це зменшує загальну харчову цінність цих ковбас ( $A_3$ ).

Окремо необхідно відмітити м'ясні паштети. Так м'ясний паштет «Печінковий» за результатами обрахунку харчової і споживчої цінності отримав найменші значення, що пов'язано з традиційно завищеною ціною цього паштету і низкою збалансованістю білків печінки за вмістом НАК.

Практично для всіх м'ясних паштетів збалансованість за критеріями якості КРАС і Delta нижча ніж у ковбасних виробів, що пов'язано з сировиною і технологією їх виготовлення. Однак по групі м'ясних паштетів нового покоління з включення рослинних білків (Делікатесний, Сир з печінки, До сніданку, Орданський, М'ясний дитячий, Подільський) ця збалансованість знаходиться на рівні збалансо-

ваності варених ковбас відповідного сорту. Крім того для всіх паштетів є та ж тенденція збільшення лімітованості по найбільш лімітованій НАК ( $SKOR_{\min}$ ) і зменшення рівня засвоєння ( $D_{\text{пер}}$ ) зі зниженням сортності продукту.

По результатам обрахунку харчової цінності варених та варено-копчених ковбас, м'ясних паштетів за критеріями  $SKOR_{\min}$ ,  $D_{\text{пер}}$ ,  $D_{\text{орг}}$ , видно, що зі зниженням сортності ковбас збільшується їх лімітованість по НАК, органолептична оцінка та здатність до засвоєння порівняно з ковбасами та м'ясними паштетами вищого сорту. Це говорить про високу корелятивну відповідність цих показників для визначення сортності м'ясопродуктів.

Аналіз показників збалансованості хімічного складу дає підстави зробити висновок про незбалансованість більшості варених та варено-копчених ковбас по МНЖК, а більшість м'ясних паштетів по ПНЖК, що пов'язано з характеристиками сировини для їх виробництва. Загальна збалансованість ковбас та паштетів за критерієм  $A_2$  знаходиться на рівні 67 – 82 %, критерієм  $A_3$  на рівні 62 – 82 %, а за критерієм  $A_4$  на рівні 78 – 89%. Це вказує на харчову цінність КМ, при розроблені рецептур яких використовувалось комбінування рослинної і тваринної сировини у співвідношеннях, що враховують біологічну цінність даної сировини.

### Список використаних джерел

1. Авдєєва Л. Ю. Вдосконалення технології комбінованих м'ясних продуктів з використанням рослинних білків : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.04 «Технологія м'ясних, молочних та рибних продуктів» / Л. Ю. Авдєєва. – К., 2003. – 18 с.
2. Александров С. Исследование режимов термической обработки колбас / Сергей Александров, Иван Черенов // Молочная и мясная промышленность – 1990. – №6. – С.16-17.
3. Антипова Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Антипова Л.В., Глотова И. А., Рогов И.А. – М.: Колос, 2001. – 576 с.
4. Антипова Л. В. Прикладная биотехнология / Антипова Л. В., Глотова А. И., Жаринов И. А. – ВГТА. – Воронеж, 2000. – 332 с.
5. Новые комбинированные пищевые продукты – мясо-растительные экструдаты / Л.В. Антипова, А.Н. Кузнецов, И.А. Глотова [и др.] // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2002. – №1 – С.47-50.
6. Биотехнологические методы повышения пищевой ценности изделий из низкосортного мясного сырья: Обзорная информация / [Липатов Н.Н., Алексахина В.В., Бандуркин Н.Г., Митасева Л.Ф.] – М.: АгроНИИТЭИММП, 1990. – 36 с.

7. Пасічний В.М. Внесення колагенвмісних сумішей в фаршеві системи / В.М. Пасічний, М.М. Полумбрик // Науковий вісник ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького. Технічні науки. Серія «Харчові технології». Частина 4. – 2016 р. Том 18, №2 (68). – С. 150-152.

8. Ukrainets A. Plant extracts antioxidant properties for meat processing industry / А.І. Українець, В.М. Пасічний, Ю.В. Желуденко // *Biotechnologia Acta*. – 2016. – Т. 9. – №2. – С.19-27.

9. Пасічний В.М. Перспективи використання зеленої маси подорожника у виробництві напівфабрикатів з м'яса птиці / В.М. Пасічний, І.В. Житецький, Д.А. Шведюк, М.І. Юшко, Н.П. Логвиненко // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Технічні науки. Серія «Харчові технології» – Том 18, № 1 (65) Ч. 4. – 2016. – С.241-244.

10. Страшинский И. Влияние содержащей белок пищевой композиции на качество вареных колбасных изделий / И. Страшинский, В. Пасичный, О. Фурсик // *Химия и технология пищи. Научные труды. Пищевой институт Каунасского технологического университета*. – Каунас, 2016 р. – Т. 50, Nr. 1. – С. 56-67.

11. Іванов С.В. Регулювання структурно-механічних показників низькокалорійних м'ясних січених напівфабрикатів з використанням нанокompatитів / С.В. Іванов, В.М. Пасічний, Страшинський, О.П. Фурсік, І.О. Степаненко // Наукові праці НУХТ. – 2014. Т. 20. - № 6. – С.227-233.

12. Липатов Н. Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности (обзор) / Николай Липатов, Иосиф Рогов // *Известие вузов*. – 1987. – №2. – С. 5-15.

13. Липатов Н.Н. Методологические подходы к проектированию рецептур многокомпонентных пищевых продуктов третьего поколения. Тезисы докладов III Всесоюзной НТК «Разработка процессов получения комбинированных продуктов питания». – М., 1988. – С. 249.

14. Липатов Н.Н. Усовершенствованные прибор и методика для определения перевариваемости белков *in vitro* / Н.Н. Липатов, С.Б. Юдина, А.Б. Лисицын // *Вопросы питания*. – 1994. – №4. – С. 43-44.

15. Производство мясной продукции на основе биотехнологии / [Лисицын А.Б., Липатов Н.Н., Кудряшов Л.С., Алексахина В.А.]; под. ред. Акад. Россельхозакадемии Липатова Н.Н. – М.: ВНИИМП, 2005, – 369 с.

16. Мировая практика формирования качества мясного сырья и требования к нему перерабатывающей промышленности / А.Б. Лисицын, Ю.В. Татулов, И.М. Чернуха [и др.] // *Мясная индустрия*. – 2001. – №9. – С.6-9.

17. Пасічний В.М. Використання колагеновмісної сировини у виробництві м'ясних паштетів та паштетних консервів / В.М. Пасічний // Науковий вісник Львівської державної академії ветеринарної медицини ім. С.З.Гжицького. – 2001. – Т.3 (№4), Вип. 2. – С. 110-112.

18. Пасічний В.М. Рангове оцінювання комбінованих м'ясопродуктів / В.М. Пасічний // Наукові праці НУХТ. – 2002. – № 11. – С.77-80.



19. Пасічний В.М. Визначення споживчої вартості комбінованих м'ясопродуктів / В.М. Пасічний // Наукові праці НУХТ. – 2003. – № 14. – С. 81-84.
20. Пасичный В.Н. Учет тепловых эффектов в производстве комбинированных мясоспродуктов / В. Н. Пасичный // Мясной бизнес. – 2004. – № 9. – С. 14-19, – 2004. – № 10. – С. 14-17.
21. Пасичный В.Н. Использование гидроколлоидов в производстве мясных консервов / В. Н. Пасичный // Продукты & ингредиенты. – 2004. – №7(8). – С.12-13, –2004. –№8(9). – С. 10-12.
22. Пасичный В.Н. Применение β-каротина в пищевых продуктах / В.Н. Пасичный // Продукты & ингредиенты. – 2005. – №8 (17). – С.24-26.
23. Пасічний В.М. Розробка технології комбінованих м'ясопродуктів : автореф. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.04 «Технологія м'ясних, молочних та рибних продуктів» / В.М. Пасічний. – К., 1996. – 24 с.
24. Пасичный В.Н. Оценка потребительской привлекательности продукции м'ясо-перерабатывающих предприятий / В.Н. Пасичный // Мясное дело. – 2006. – № 1. – С. 24-26.
25. Покровский А.А. О биологической и пищевой ценности продуктов питания./ А.А. Покровский // Вопросы питания. – 1975. – №3. – С. 25-39.
26. Покровский А. Атакуемость белков пищевых продуктов протеолитическими ферментами in vitro/ Александр Покровский, Игор Ертанов // Вопросы питания. – 1965. – №1-3. – С. 38-44.
27. Потребности в энергии и белке. / Технический рапорт ФАО/ВООЗ № 724, – Женева: – 1985. – 208 с.
28. Скурихин И.М. Всё о пище с точки зрения химика / И.М. Скурихин, А.П. Нечаев. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.
29. Смоляр В.И. Рациональное питание / Смоляр В.И. – К.: Наукова думка, 1991. – 368с.
30. Смоляр В.І. Фізіологія та гігієна харчування / Смоляр В.І. – К.: Здоров'я, 2000. – 336 с.
31. Справочник по диетологии // Под. ред. Покровского А.А., Самсонова М.А. – М.: Медицина, 1992. – 464 с.
32. Технологія м'яса та м'ясних продуктів / М.М. Клименко, Л.Г. Віннікова, І.Г. Береза [та ін. ]. За ред. Клименка М.М. – К.: Вища освіта, 2006, – 640 с.
33. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: спр-к хим. состава пищ. прод. / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.
34. Черников М.П. Протеолиз и биологическая ценность белков. Казеин как собственно пищевые белки. / Черников М.П. – М.: Медицина, 1975. – 231 с.
35. Черников М.П. О химических методах определения качества пищевых белков / М.П. Черников // Вопросы питания. – 1986. – №1. – С. 42 – 50.
36. Черников М.П. К вопросу о рациональной классификации пищевых белков / М.П. Черников // Вопросы питания. – 1986. – №5. – С. 68 –70.

37. Khouryieh H.A.M. Rheological characterization of xanthan-guar mixtures in dilute solutions / Dissertation doctor of philosophy, Kansas state university Manhattan, Kansas. – 2006. – 148 p.

38. Pietrasik Z. Binding and textural properties of beef gels processed with K-carrageenan, egg albumin and microbial transglutaminase / Pietrasik Z. // *Meat Science*. – 2003. – Vol. 63, Is. 3. – P. 317-324.

39. Cooper C. Stretching muscle / C. Cooper // *Meat and Poultry*. – 2000. – Vol. 46. – №1. – P.60-62.

40. Semjonyschewa A.I. Methoden der rationellen Verarbeitung eines in der Geflügelverarbeitungsindustrie anfallenden Rohstoffes / A.I. Semjonyschewa, I.W. Nikolajew, N.G. und [oth.] // *Fleischwirtschaft*. – 2010. – № 3. – S. 122-126.

41. Slenkrich H., Schiffner E. Mikrobiologie des Fleische. – Leipzig: Fachbuchverl. 1990. – 188 s.

42. Edwards Bill. Products and applications for emulsifying and gelling agents // *Confections (Gr.Brit)* – 1998. – Vol. 5. – P. 26 – 28.

43. Amorphous cellulose gel as a fat substitute in fermented sausages / P. Campagnol, B. Dos Santos, W. Henrique and [oth.] // *Meat Science*. – 2012. – Vol. 90, Is.1. – P. 36-42.

44. Лекція: ХАССП критические контрольные точки. [Електронний ресурс] / Представлено підходи щодо контролю і аналізу виробництва у відповідності з ХАССП // – Режим доступу до ресурсу : <http://works.tarefer.ru/55/100041/index.html>.

45. Сайт науково-практичного журналу «Мясной бизнес» видавництво Біопром з матеріалами статей. [Електронний ресурс] / Штанге Б. Некоторые аспекты производства колбас из мяса птицы и контроль их качества. // *Мясной бизнес*. – 2007. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://www.meatbusiness.ua>.

46. Сайт науково-практичного журналу «Мясные технологии» [Електронний ресурс] / Представлено спеціалізовану інформацію по якості м'яса, субпродуктів, готової продукції та сучасним напрямкам розвитку технологій м'ясо переробки // – Режим доступу: [www.meatbranch.com](http://www.meatbranch.com).

## Розділ 7/Chapter 7

### Вплив мікробного полісахариду ксампану на формування якості маффінів на основі шроту зародків пшениці

О.В. Самохвалова, К.Р. Касабова

### Influence microbial polysaccharides xampan on the formation of quality muffin based meal of wheat germ

Olga Samokhvalova\*, Kateryna Kasabova

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The influence of microbial polysaccharide xampan on the indicators of dough quality and baked muffins based on extraction cake of wheat germ with full replacement of wheat flour is studied. It is established that the use of microbial polysaccharide xampan in the amount of 0.1% to the weight of a finished product in the technology of muffins based on wheat germ with the complete exception of wheat flour from the recipe, improves structural-mechanical properties of dough such as instant elasticity module, the module of high elasticity, plastic viscosity index, effective viscosity and adhesion, organoleptic and physical-chemical parameters of finished products' quality. Muffins based on wheat germ extraction cake possess high nutritional and biological value, contain a significant amount of dietary fiber, phenolic compounds, minerals, carotenoids, tocopherol, and can be recommended for health promoting nutrition.

**Keywords:** *xampan, muffin, wheat, germ, quality, extraction*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [sam-ov@mail.ru](mailto:sam-ov@mail.ru)

## Зміст

### Вступ

*7.1. Наукові основи та практичний досвід створення борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової цінності*

*7.2. Перспективи використання шроту зародків пшениці у технології маффінів підвищеної харчової цінності*

*7.2.1 Характеристика шроту зародків пшениці*

*7.2.2 Оцінка показників якості та харчової цінності безборошняних маффінів*

### Висновки

*Список використаних джерел*

## Вступ

Маффіни є новим для українського ринку видом борошняних кондитерських виробів, які мають значний попит у споживачів завдяки привабливому зовнішньому вигляду і приємним смаковим якостям. Проте їх суттєвим недоліком є висока енергетична та низька харчова цінності. Збільшення обсягів виготовлення цієї продукції в нашій країні, останнім часом, пов'язано з використанням імпортованих полікомпонентних сумішей, які містять синтетичні харчові добавки, що спрощує технологію маффінів, проте не сприяє отриманню продукції з високою харчовою цінністю. Споживання таких виробів може порушувати збалансованість раціонів харчування як за основними харчовими речовинами, так і за енергоємністю. У цьому зв'язку коригування хімічного складу маффінів є дієвим шляхом підвищення їх харчової та біологічної цінності.

Джерелами корисних фізіологічно функціональних інгредієнтів може бути нетрадиційна рослинна сировина, що містить низку корисних поживних речовин (харчових волокон, поліфенольних та мінеральних сполук, білків, токоферолу, каротиноїдів). Комплекс цих речовин, з одного боку, сприятиме коригуванню їх хімічного складу у бік зниження енергетичної цінності та збільшення кількості речовин необхідних для здорового харчування людини, а з іншого – впливатиме на процеси формування структури тіста та якість борошняних кондитерських виробів.

У зв'язку з цим одним з актуальних напрямків розширення асортименту кондитерських виробів підвищеної харчової цінності є виробництво безборошняних маффінів з використанням нетрадиційної

рослинної сировини, що дозволить максимально застосовувати усі наявні в ній фізіологічно функціональні інгредієнти.

### **7.1. Наукові основи та практичний досвід створення борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової цінності**

Маффіни, як і більшість борошняних кондитерських виробів, мають підвищену калорійність і незбалансований хімічний склад, містять значну кількість легкозасвоєваних вуглеводів, які представлені крохмалем і цукрозою, та практично не мають корисних для здоров'я людини речовин. Оскільки вони майже щоденно і систематично вживаються населенням, є актуальним збагачення їх фізіологічно функціональними харчовими інгредієнтами, що сприятиме коригуванню їх хімічного складу у бік зниження енергетичної цінності і збільшення кількості речовин необхідних для здорового харчування людини.

Фахівці [1–3] відмічають, що внаслідок неправильного харчування у значної частини населення розвинених країн, включаючи й молоде покоління, спостерігаються значні порушення харчового раціону: надмірне споживання тваринних жирів і поліненасичених жирних кислот; дефіцит окремих повноцінних (тваринних) жирів, більшості вітамінів, мінеральних речовин (кальцію, заліза), мікроелементів (йоду, фтору, селену, цинку), а також харчових волокон. Це насамперед призводить до передчасного старіння організму, порушення діяльності серцево-судинної системи та шлунково-кишкового тракту тощо. Запровадження інноваційних розробок у сфері здорового харчування в Україні регламентується відповідними програмами та концепціями, прийнятими урядом України – «Здорова нація», «Концепція поліпшення продовольчого забезпечення та якості харчування населення» тощо[4–5].

Аналіз літературних джерел [6–11] показує, що в промислово розвинених країнах споживання високомолекулярних вуглеводів (рослинних харчових волокон), які включають комплекс полісахаридів – целюлозу, геміцелюлози, пектинові речовини, лігнін – знизилося в 3...4 рази порівняно з тією кількістю, яку люди отримували з їжею 100 років тому.

Щоденне вживання функціональних продуктів сприяє збереженню та поліпшенню здоров'я. Продукти функціонального харчування, зазвичай, містять інгредієнти, що надають їм функціональних властивостей. На думку автора D. Potter [12–13] існує 7 основних видів функціональних інгредієнтів: харчові волокна (розчинні та нерозчин-

ні), вітаміни, мінеральні речовини, омега-3-жирні кислоти, антиоксиданти (бета-каротин, аскорбінова кислота, альфа-токоферол), олігосахариди, а також група, що включає мікроелементи, біфідобактерії тощо.

Враховуючи особливості складу, властивості й технологічну специфіку отримання, функціональні продукти поділяться на такі основні категорії [12]:

- традиційні продукти, що містять у натуральному вигляді значні кількості фізіологічно функціонального інгредієнта або їх групи;
- традиційні продукти, в яких технологічно знижений вміст компонентів, шкідливих для здоров'я, що перешкоджають прояву фізіологічної дії або біозасвоюваності функціональних інгредієнтів, що входять до складу продукту;
- традиційні продукти, додатково збагачені функціональними інгредієнтами за допомогою різних технологічних прийомів.

Слід відзначити, що на сьогодні саме категорія збагачених функціональних продуктів найбільш затребувана з точки зору корекції раціонів харчування, що проводять шляхом додавання до їх складу одного або декількох фізіологічно функціональних інгредієнтів із метою забезпечення ними потреб організму людини в необхідних компонентах [14].

Провідні фахівці [15–16] вважають, що оскільки хлібобулочні та борошняні кондитерські вироби є продуктами масового та регулярного вживання, тому коригування їх хімічного складу в напрямі підвищення вмісту важливих фізіологічно функціональних інгредієнтів може суттєво покращити харчовий статус і стан здоров'я населення країни в цілому.

Борошняні кондитерські вироби нового покоління повинні мати збалансований за основними харчовими і біологічно активними речовинами хімічний склад і сприяти покращенню захисних функцій організму, зокрема імуномодельючої та імуностимулюючої [15–17].

Одним зі шляхів вирішення проблеми підвищення харчової цінності виробів є комплексне використання вторинних сировинних ресурсів та промислових відходів переробки сільськогосподарської сировини. Перспективною вторинною сировиною, на наш погляд, для отримання борошняних кондитерських виробів є відходи, що залишаються після виготовлення цільових продуктів борошномельного, круп'яного, цукрового, виноробного, олійного та інших виробництв [12; 15–17]. Огляд літературних джерел дозволив виділити нетрадиційну вторинну сировину, що використовують для збагачення борошняних кондитерських виробів – це борошно та шроти нетрадиційних

зернових та круп'яних культур, різноманітна плодово-ягідна й овочева сировина, їх порошки, пасти, пюре, кріопасти, сиропи. Слід зазначити, що для підвищення харчової цінності виробів використовують також різноманітні збагачувальні добавки, у тому числі синтетичного походження. Проте цей підхід є менш бажаним, оскільки зазвичай синтетичні сполуки перебувають у формі, що погано засвоюється організмом (на відміну від природних сполук), що значно зменшує лікувально-профілактичну ефективність продукції.

Зупиняючись на питаннях підвищення харчової цінності маффінів, варто відзначити, що останнім часом, як закордонні, так і вітчизняні вчені вивчають можливість надати їм оздоровчої або спеціальної дії. Так, іспанськими вченими розроблено маффіни з заміною пшеничного борошна на харчові волокна з персика кількістю до 32% для підвищення їх харчової цінності [18]. Австралійськими та російськими дослідниками були розроблені рецептури маффінів, збагачених насінням льону [19]. Безумовно, ці технологічні рішення дозволяють суттєво збагатити маффіни харчовими волокнами, поліненасиченими жирними кислотами, вітамінами та мінеральними речовинами.

Фахівцями Національного університету харчових технологій розроблено низку рецептур та технологій безглютенових маффінів із використанням аглютенових видів борошна (кукурудзяного, рисового, гречаного) [20]. Із застосуванням лактулози та інших цукрозамінників можна отримати маффіни високої якості [21]. Ці технології дозволяють розширити асортимент борошняної кондитерської продукції для раціонів людей, що хворіють на целиакію, тобто не переносять пшеничний глютен та цукровий діабет.

Авторами [22] запропоновано у технології маффінів заміна 10,0...40,0% пшеничного борошна на її екструдант з метою інтенсифікації «традиційної технології», розширення асортименту, збільшення виходу готових виробів, поліпшення зовнішнього вигляду виробів і продовження термінів їх зберігання.

Слід зазначити, що одним із шляхів збагачення маффінів є застосування різноманітних начинок та добавок. Так, науковцями Полтавського університету економіки і торгівлі пропонується технологія маффінів із гарбузовою начинкою для підвищення їх харчової цінності [23], а у НУХТі авторами [24] розроблено фруктову начинку до складу якої входить дрібнодиспергована вівсяна клітковина у кількості 10,0...12,0%, що покриває добову потребу в харчових волокнах. Безумовно, виважене поєднання начинок є дієвим шляхом підвищення харчової цінності виробів, але, на жаль, за використання лише збагаче-

них фізіологічно функціональними інгредієнтами начинок не досягається мета фізіологічно значущого вмісту цих речовин у виробках.

Крім того, значного використання у харчовій промисловості знайшли й препарати харчових волокон, особливо іноземного виробництва. Це Vitacel й Herbacel (Німеччина), Novelose (США), Fibregel й Actilight (Франція), Frutafit (Нідерланди), Raftilin (Бельгія) тощо [25]. Високий вміст цих речовин у препаратах дозволяє вирішити проблему харчових волокон нестачі у раціонах харчування, проте їх суттєвим недоліком є висока вартість.

Вирішення проблеми підвищення харчової та біологічної цінності борошняних кондитерських виробів, зокрема маффінів, лежить у площині пошуку нових добавок із високим вмістом фізіологічно функціональних інгредієнтів. Їх застосування для збагачення виробів дефіцитними нутрієнтами відкриває можливість для масового вирішення проблем нестачі корисних речовин у раціонах харчування людини. Підсумовуючи накопичений досвід науковців можна сказати, що вторинні рослинні ресурси – відходи виробництв – можуть бути перспективними джерелами фізіологічно функціональних інгредієнтів.

## **7.2. Перспективи використання шроту зародків пшениці у технології маффінів підвищеної харчової цінності**

### **7.2.1 Характеристика шроту зародків пшениці**

Останнім часом накопичено практичний досвід щодо збагачення борошняних кондитерських виробів різноманітними продуктами переробки нетрадиційної вторинної рослинної сировини. Проте, постійно з'являються нові джерела нетрадиційної сировини та продуктів їх переробки, що вимагає від науковців вивчення їх властивостей і напрацювання значної кількості питань теоретичного й практичного аспектів їх застосування.

Враховуючи, обсяги борошномельного виробництва та унікальні властивості й хімічний склад зародків пшениці, який являє собою відхід виробництва пшеничного борошна, робить їх перспективною сировиною для збагачення виробів. Висловлене положення про те, що зародок пшениці є найціннішою частиною зернівки і має особливий хімічний склад, підтверджують дані табл. 7.1.



Таблиця 7.1

**Хімічний склад зародків пшениці**

Речовина	Вміст речовини, %
Масова частка вологи	13...15
Білкові та азотовмісні речовини	28...39
Вуглеводи, в тому числі клітковина	42...46 2,3...2,5
Ліпіди	4,6...17,0
Мінеральні речовини	5,0...5,3

Так, він містить комплекс поживних речовин до складу якого входять білки і незамінні амінокислоти, харчові волокна, мінеральні речовини, ліпіди та інше [26–27].

Багатий хімічний склад зародків пшениці зумовив його широке розповсюдження як джерело фізіологічно функціональних інгредієнтів у низці продуктів харчування [28–29].

Авторами [28] у технологіях хлібобулочних виробів оздоровчого призначення з борошна пшеничного озонованого запропоновано використання дрібнодисперсних зародків пшениці у кількості 7,0...8,0% до маси борошна для збагачення виробів на біологічно активні речовини та покращення їх структурно-механічних властивостей, збільшення пористості та об'єму.

Для поліпшення якості здобного печива та збагачення фізіологічно функціональними інгредієнтами використовують обсмажені зародки пшениці, лактитол та пшеничне борошно у співвідношенні 0,8:0,8:1 [30].

Відома суміш для борошняних кондитерських виробів найбільш близька за амінокислотним складом до «ідеального» білка, що містить 15% білка борошна зародків пшениці, 39% білка сої, 42,6% білка гарбуза і 1,1% білка макухи соняшнику [31].

Розроблено технологію термоформованих гарнірів із додаванням дієтичних добавок із знежирених зародків пшениці у кількості 11% до маси продукту, який характеризуються високою біологічною цінністю за амінокислотним скором, ліпідами, вітамінами та мінеральними речовинами [32].

Науковцями [33] доведено, що використання гідратованих смажених зародків пшениці за вмісту 10% сухого знежиреного молочного залишку та під час його часткової заміни зерновою добавкою в кількості 3%, підвищують їх функціонально-технологічні властивості у складі морозива.

Відомо використання зародків пшениці для збагачення бісквіту напівфабрикату. Для цього запропоновано їх використання у кількості 20%, що дозволяє суттєво підвищити харчову цінність виробів [34].

Авторами [35] пропонується використання дієтичних добавок «Глюкорн-100» та «Шрот зародків пшениці харчовий», отриманих із зародків пшениці у технологіях хлібобулочних виробів для підвищення якості та харчової цінності виробів.

На КП «Білоцерківхлібопродукт» розроблена унікальна технологія дієтичної добавки «Шрот зародків пшениці харчовий», що є продуктом комплексної переробки зародку пшениці. Дана добавка загальнозміцнюючої, адаптогенної та антиоксидантної дії, отримана шляхом комплексної переробки зародку пшениці [36]. Вона є цінним джерелом харчових волокон, які наведені клітковиною, геміцелюлозами, лігніном (табл. 7.2). Добавка також містить вітаміни групи В, вітамін Е, РР, каротиноїди та мінеральні речовини [37].

Таблиця 7.2

**Хімічний склад шроту зародків пшениці**

Речовина	Вміст
<b>Харчові волокна, г/100г:</b>	
Целюлоза (клітковина)	2,25
Геміцелюлоза	25,25
Лігнін	3,78
<b>Вітаміни, мг/100г:</b>	
Вітамін Е	7,5
Вітамін В <sub>1</sub>	0,175
Вітамін В <sub>2</sub>	0,865
Вітамін В <sub>6</sub>	0,37
Вітамін РР	0,58
Каротиноїди	0,95
<b>Амінокислоти, г/100г:</b>	
Лізин	2,492
Треонін	1,528
Цистин + Метіонін	0,685
Валін	1,577
Ізолейцин	1,182
Лейцин	2,376
Фенілаланін + Тирозин	2,514

Клінічними дослідженнями доведено, що дієтичну добавку «Шрот зародків пшениці харчовий» доцільно використовувати як до-

даткове джерело харчових волокон і вітамінів з метою поліпшення функціонування органів шлунково-кишкового тракту, серцево-судинної системи, при цукровому діабеті, надлишковій вазі, порушеннях обміну речовин тощо [37].

Принципова схема технологічного процесу одержання добавки наведена на рис. 7.1.

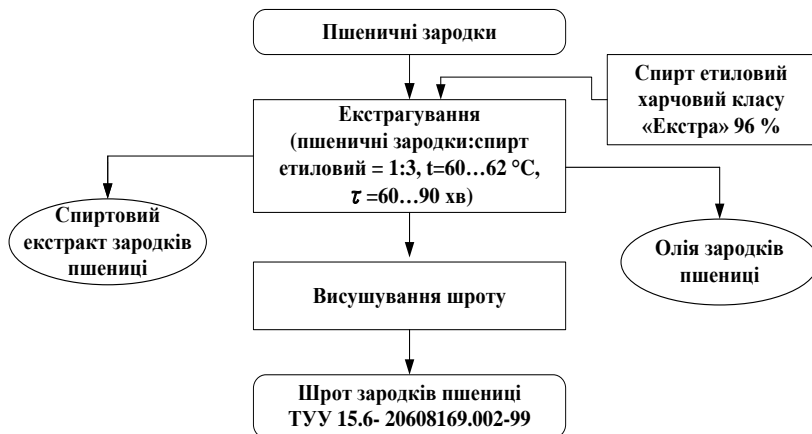


Рис. 7.1. Принципова схема технологічного процесу одержання шроту зародків пшениці

Перевагою такої комплексної переробки зародків пшениці є отримання крім знежиреного шроту, ще двох корисних продуктів – олії зародків пшениці та спиртового екстракту «Глюкорн-100». Харчова цінність олії зародків пшениці загальновідома, а «Глюкорн-100» містить значну кількість незамінних амінокислот, вітамінів, фенольних сполук, мінеральних та дубильних речовин. Його рекомендовано до використання як дієтичну добавку, а науковцями запропоновано використання спиртового екстракту в технології хліба [38], що дозволило інтенсифікувати процес, підвищити вміст білка, вітамінів Е, групи В, РР, фенольних сполук, каротиноїдів, а також показники якості та перетравлюваність білків виробів.

У ХДУХТ розроблені технології хліба та хлібобулочних виробів із застосуванням шроту зародків пшениці у кількості 15% із заміною пшеничного борошна для отримання виробів із високими органолеп-

тичними та фізико-хімічними показниками якості та вмістом харчових волокон [35].

Науковці [39] також пропонують використовувати шрот зародків пшениці у кількості 25,0...100,0% із заміною пшеничного борошна у технології бісквітного напівфабрикату, що дозволяє збагатити вироби харчовими волокнами та надати їм приємного горіхового смаку та запаху.

Фахівцями кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів запропонована технологія маффінів з повною заміною пшеничного борошна шротом зародків пшениці. Для створення належних структурно-механічних властивостей безборошняної системи використовують структуроутворювач і загусник мікробний полісахарид ксантан, що відпускається під торговою маркою «Ксампан» (E415), у кількості 0,1...0,3% до маси готового виробу [40].

### **7.2.2 Оцінка показників якості та харчової цінності безборошнених маффінів**

Нами розроблено технологію безборошнених маффінів на основі шроту зародків пшениці з застосуванням структуроутворювачу ксампану. Запропонована технологія відрізняється від традиційних використанням натуральної сировини, відсутністю харчових добавок синтетичного походження та застосуванням способу окремого змішування рідких та сухих компонентів (Muffin Mixing Method). Крім того, передбачається повна заміна борошна шротом зародків пшениці та використання як структуроутворювача ксампану, що дозволяє отримати вироби високої якості та харчової цінності.

Технологічна схема виробництва маффінів зі шротом зародків пшениці наведена на рис. 7.2, рецептура – у табл. 7.3.

Для оцінки якості розроблених маффінів здійснювали пробне лабораторне випікання. Дієтичну добавку вносили у сухому вигляді, замінюючи 100,0% пшеничного борошна. За контрольний зразок було обрано маффіни, які виготовляють за традиційною технологією на основі пшеничного борошна вищого ґатунку. Аналіз якості здійснювали за стандартними методиками.

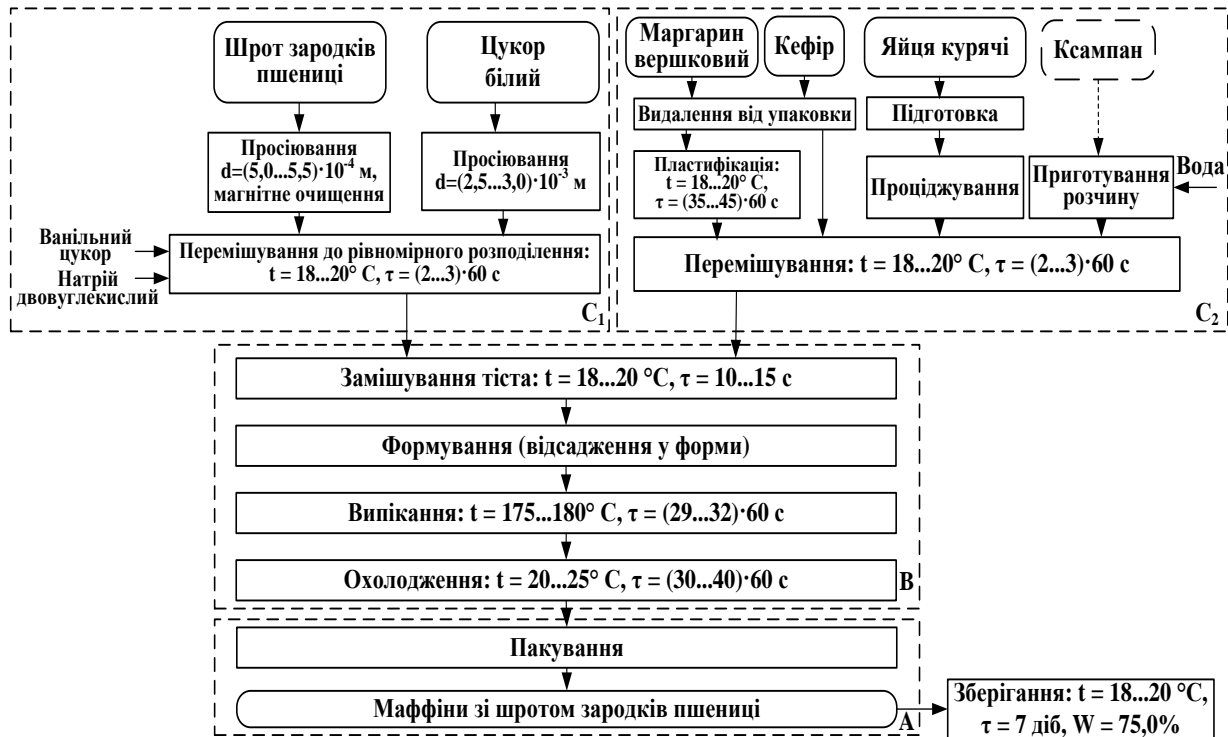


Рис.7.2. Технологічна схема виробництва маффінів зі шротом зародків пшениці та ксампаном

Таблиця 2.3

Рецептура маффінів зі шротом зародків пшениці

Сировина	Масова частка сухої речовини, %	Витрати сировини, кг			
		Маффіни без добавок		Маффіни зі шротом зародків пшениці	
		в натурі	в сухій речовині	в натурі	в сухій речовині
Борошно пшеничне	85,50	380,00	324,90	–	–
Кефір	11,00	220,00	24,20	220,00	24,20
Цукор білий	99,85	250,00	249,62	175,00	174,73
Маргарин	84,0	165,00	138,60	165,00	138,60
Яйця курячі	27,00	66,00	17,82	66,00	17,82
Ванільний цукор	99,85	8,50	8,48	8,50	8,48
Натрій двовуглекислий	100,00	2,50	2,50	2,50	2,50
<b>Шрот зародків пшениці</b>	93,00	–	–	380,00	353,40
<b>Ксампан</b>	94,00	–	–	1,00	0,94
Разом	–	1092,00	766,12	1018,00	720,67
Вихід	–	1000,00	710,0	1000,0	700,0

Органолептичні показники якості готових виробів наведено в табл. 7.4.

Як видно з табл. 7.4, маффіни як контрольний зразок, так і безборошняні мають гарний зовнішній вигляд, характерний для виробів, тріщини на поверхні та м'яку, еластичну м'якушку, яка не крихка й не розсипається. Маффіни зі шротом зародків пшениці мають більш виражене забарвлення скоринки та м'якушки, приємний смак і запах властивий добавці.

Аналіз фізико-хімічних показників маффінів із шротом зародків пшениці (табл. 7.5) свідчить, що вологість виробів за його внесення збільшується на 7,1% порівняно з контрольним зразком. Це поясню-

ється тим, що мікробний полісахарид має гідрофільні властивості, та здатен утримувати дещо більшу кількість води.

Таблиця 7.4

**Органолептичні показники якості маффінів із додаванням шроту зародків пшениці та ксампаном**

Показник	Маффіни	
	Контроль (без добавок)	Шрот зародків пшениці з ксампаном
Зовнішній вигляд	Форма правильна, з тріщинами, без підривів	Форма правильна, з тріщинами, без підривів
Колір	Скоринки – золотавий, м'якушки – світло-жовтий	Скоринки – світло-коричневий, м'якушки – золотаво-коричневий
Запах	Властивий виробам, без сторонніх запахів	Приємний, з яскраво вираженим горіховим запахом
Смак	Властивий виробам, без сторонніх присмаків	Приємний, наповнений, з яскраво вираженим горіховим присмаком
Стан м'якушки	М'яка, добре розпушена	М'яка, добре розпушена, еластична

Таблиця 7.5

**Фізико-хімічні показники якості маффінів із додаванням шроту зародків пшениці та ксампаном**

Маффіни	Вологість, %	Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /г	Лужність, град
Контроль	28,0±0,4	2,5±0,05	1,80±0,06
Шрот зародків пшениці з ксампаном	30,0±0,6	3,0±0,06	1,00±0,02

Питомий об'єм виробів на основі шроту зародків пшениці під час повної заміни та з додаванням ксампану на 12,0% порівняно з контролем. Збільшення показника питомого об'єму в зразках з ксампаном зумовлено їх кращою газотримувальною здатністю. Лужність дослідних виробів дещо зменшується.

Проведено визначення харчової та енергетичної цінності виробів табл. 7.6. Видно, що маффіни з добавкою мають знижену енергетичну цінність, менший вміст вуглеводів та більшу кількість білка порівняно з маффінами без добавок.

Таблиця 7.6

**Харчова та енергетична цінність маффінів із додаванням шроту зародків пшениці та ксампану (у 100 г)**

Показник	Маффіни	
	Контроль (без добавок)	зі шротом зародків пшениці та ксампаном
Білки, г	5,4	16,7
Жири, г	13,3	13,0
Вуглеводи, г	52,9	37,8
Енергетична цінність, ккал	362,4	343,7

7.7. Вміст біологічно активних речовин у виробках наведено в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

**Вміст біологічно активних речовин у маффінах із додаванням шроту зародків пшениці та ксампану (у 100 г)**

Біологічно активні речовини	Масова частка речовини у маффінах	
	Контроль (без добавок)	зі шротом зародків пшениці та ксампаном
Харчові волокна, г:	0,40±0,01	10,2±0,2
розчинні	–	0,60±0,01
нерозчинні	0,040±0,001	9,60±0,19
у т.ч. целюлоза, г	0,040±0,001	4,60±0,09
геміцелюлози, г	–	4,200±0,084
лігнін, г	–	1,10±0,02
пектинові речовини, г	–	0,300±0,006
Дубильні речовини (за таніном), мг/100г	0,68±0,02	553,2±11,0
Низькомолекулярні фенольні сполуки (за рутином), мг/100 г	0,20±0,02	5,05±0,10
у т.ч. гідроксикоричні кислоти, мг/100г	сліди	3,80±0,08
флавоноїди, мг/100г	сліди	1,25±0,02
сапоніни, мг/100г	сліди	–
Каротиноїди, мг/100 г	0,25±0,01	0,710±0,004
Токоферол, мг/100г	–	1,25±0,02



Так, маффіни з добавкою, у свою чергу, містять значно більше ніж контроль харчових волокон у 25,5 разів, низькомолекулярних фенольних сполук – у 25 разів, каротиноїдів – у 2,8 разів, токоферолу – у 12,5 разів відповідно. За вмістом дубильних речовин вироби зі шротом зародків пшениці суттєво перевершують маффіни без добавок.

Слід зазначити, що споживання маффінів зі шротом зародків пшениці та ксампаном дозволяє забезпечити покриття добової потреби у харчових волокнах на 40,8%.

Вміст мінеральних речовин у маффінах із дослідними добавками наведено у табл. 7.8.

Таблиця 7.8

**Вміст мінеральних речовин у маффінах із додаванням шроту зародків пшениці та ксампану**

Мінеральні речовини	Масова частка речовин у маффінах, мг/100г,	
	Без добавки (контроль)	зі шротом зародків пшениці та ксампаном
Залізо	0,46±0,01	2,66±0,05
Кремній	1,52±0,04	сліди
Фосфор	32,68±0,90	235,6±4,7
Алюміній	399,0±11,0	сліди
Марганець	сліди	13,68±0,27
Магній	6,08±0,16	83,6±1,6
Кальцій	6,84±0,16	43,7±0,8
Цинк	сліди	8,31±0,16
Натрій	1,14±0,04	2,77±0,05
Калій	46,36±1,38	832,2±16,6

За мінеральним складом маффіни зі шротом зародків пшениці мають високу кількість магнію (83,6 мг/100г), фосфору (235,6 мг/100г), калію (832,2 мг/100г) відповідно порівняно з контрольним зразком.

Отже, розроблені маффіни мають підвищену харчову та біологічну цінність, містять у собі фізіологічно функціональні інгредієнти такі як, харчові волокна, низькомолекулярні фенольні сполуки, мінеральні речовини, містять каротиноїди та токоферол.

**Висновки**

1. Розглянуто наукові основи та практичний досвід створення борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової цінності. У ре-

зультаті аналізу вітчизняних і закордонних літературних джерел визначено, що застосування нетрадиційної вторинної рослинної сировини, зокрема борошномельного виробництв, є ефективним шляхом вирішення цього завдання.

2. Обґрунтовано перспективність повної заміни пшеничного борошна шротом зародків пшениці з застосуванням структуроутворювача ксампану у технології маффінів. Доведено, що безборошняні маффіни мають високі органолептичні та фізико-хімічні показники якості та суттєво більший вміст фізіологічно функціональних інгредієнтів й можуть бути рекомендовані для оздоровчого та лікувально-профілактичного харчування.

### Список використаних джерел

1. Каленик Т. К. *Возможности оптимизации питания* / Т. К. Каленик, Д. В. Купчак // *Пищевая промышленность*. – 2010. – № 4. – С. 50–51.
2. Корзун В. Н. *Вимоги до якості харчування населення в умовах екологічного неблагополуччя* / В. Н. Корзун // *Екологічний вісник*. – 2006. – № 6. – С. 10–14.
3. Бакуменко О. Е. *Современные подходы к организации оптимального питания учащейся молодежи* / О. Е. Бакуменко, А. Ф. Доронин // *Пищевая промышленность*. – 2010. – № 7. – С. 36–38.
4. *Концепція Загальнодержавної цільової соціальної програми "Здорова нація" на 2009-2013: [Електронний ресурс] закон України № 731 від 21.05.2008.* – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=731-2008-%F0>.
5. *Про затвердження Концепції поліпшення продовольчого забезпечення та якості харчування від 26.05.2004 р.* [Електронний ресурс] Закон України 332 – Режим доступу : <http://uazakon.com/document/fpart71/idx71292.htm>.
6. *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and Around the World/ Edited by Debasis Bagchi.* – USA, Elsiver Inc., 2008. – 447 p.
7. *Martirosyan D. M. Functional Foods and Chronic Diseases: Science and Practice* / Danik M. Martirosyan // *Food Science Publisher*. – 2011. – 282 p.
8. *Kaur Sumeet. Functional foods: An overview* / Sumeet Kaur, Madhusweta Das // *Food Science and Biotechnology*. – 2011. – Vol. 20. – P. 861–875.
9. *Functional Food and Organic Food are Competing Rather than Supporting Concepts in Europe* / [Johannes Kahl, Aneta Załęcka, Angelika Ploeger et al.] // *Agriculture*. – 2012. – № 2. – P. 316–324.
10. *Современные тенденции в области разработки функциональных продуктов питания* / [В. Г. Белкин, Т. К. Каленик, Л. О. Коршенко и др.] // *Тихоокеанский медицинский журнал*. – 2009. – № 1. – С. 26–29.
11. *Збагачення харчових продуктів вітамінами та мінералами як важливий фактор оптимізації харчування населення України* / О. С. Мартинова, Н. В. Гордієнко, А. Є. Подрущняк, В. П. Кульчицька // *Актуальні питання гігіє-*

ни харчування та безпечність харчових продуктів: IV Міжнар. наук.-практ. конф. – К., 2006. – С. 60–61.

12. Алешков А. В. Функциональные продукты питания – ключевое направление в пищевой индустрии / А. В. Алешков // Вестник ХГАЭП. – 2012. – № 1 (58). – С. 75–87.

13. Potter D. Positive Nutrition – making it happen / D. Potter // Food ingredients Europe: Conference Processing. – 1995. – P. 180

14. Матвеева Т. В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий : монография / Т. В. Матвеева, С. Я. Корячкина. – Орел : ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – 947 с.

15. Дорохович А. М. Маффіни на безглютеновому борошні для хворих на целіакію / А. М. Дорохович, Н. П. Лазоренко // Ukrainian Food Journal. – 2012. – № 1. – С. 58–61.

16. Капліна Т. В. Вплив композиційної борошняної суміші з гарбузового насіння та гречки на показники якості кексів / Т. В. Капліна, В. М. Столярчук, М. А. Кудрик // Наукові праці ОНАХТ. – 2012. – Вип. 42, Т. 1. – С. 178–181.

17. Ковбаса В. Н. Разработка технологий мучных кондитерских изделий специального назначения / В. Н. Ковбаса, В. В. Дорохович // Техника и технология пищевых производств : VIII междунар. науч.-техн. конф., 27-28 апреля 2011 г. : тезисы докл. : в 2 ч. – Могилев, 2011. – Ч. 1. – С. 165.

18. Grigelmo-Miguel N. Development of high-fruit-dietary-fibre muffins / N. Grigelmo-Miguel, E. Carreras-Boladeras, O. Martin-Belloso // European Food Research and Technology, Springer-Verlag GmbH. – 1999. – № 2. – P. 0123–0128.

19. Consumer Acceptability of Muffins with Flaxseed (*Linum usitatissimum*) / A. Ramcharitar // Journal of food science: Sensory and Nutritive Qualities of Food. – 2005. – № 7. – P. 504–507.

20. Пат. 64660 Україна, МПК (2011.01) А 23 G 3/00. Мафін безглютеновий / Дорохович А. М., Лазоренко Н. П. ; заявник та патентовласник Нац. ун-т харчових технологій. – № u201105531 ; заявл. 29.04.2011 ; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21. – 4 с.

21. Пат. 65437 Україна, МПК (2011.01) А 23 G 3/00. Мафін функціонального призначення / Дорохович А. М., Лазоренко Н. П. ; заявник та патентовласник Нац. ун-т харчових технологій. – № u201104866 ; заявл. 19.04.2011 ; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23. – 6 с.

22. Балаева Е. В. Совершенствование технологии производства кексов и маффинов с использованием крахмалосодержащего сырья / Е. В. Балаева, С. В. Краус // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 3. – С. 3–8.

23. Козак В. М. Нові види борошняних кондитерських виробів в Україні / В. М. Козак // Хранение и переработка зерна. – 2011. – № 1. – С. 54–55.

24. Пат. 25557 Україна МПК А23L 1/06. Склад фруктової начинки для булочних виробів / Арсеньєва Л. Ю., Борисенко О. В. – № u200704071 ; заявл. 13.04.2007 ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.

25. Ипатова Л. Г. Физиологические и технологические аспекты применения пищевых волокон / Л. Г. Ипатова // Пищевая промышленность. – 2004. – № 1. – С. 14–17.

26. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції / О. В. Богомолов, Н. В. Верешко, О. М. Сафонова, О. І. Черевко ; під ред. О. І. Шаповаленка, О. М. Сафонові. – Х. : Еспада, 2008. – 544 с.

27. Иванова М. В. Товароведная оценка белков муки зародышей пшеницы и использование лейкозина в производстве мучных кондитерских изделий и соусов для общественного питания : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Иванова Марина Викторовна. – М., 2011. – 128 с.

28. Использование пшеничных зародышей в производстве бисквитов / А. Д. Салавелис, С. Н. Павловский, Е. В. Осташевская, Т. П. Новичкова // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2007. – Вип. 30. – Т. 2. – С. 200–203.

29. Сафонова О. М. Використання зародків пшениці в технології хлібобулочних виробів оздоровчого призначення з борошна пшеничного озонованого / О. М. Сафонова, О. А. Холодова // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2011. – Вип. 40 (1). – С. 127–130.

30. Дорохович А. Использование зародышей пшеницы как физиологически функциональных сырьевых ингредиентов при производстве собного печенья для больных сахарным диабетом / А. Дорохович, В. Дорохович, О. Яременко // Биотехнологии и пищевые технологии : научные труды / Русенски университет “Ангел Кънчев”. – Русе, 2012. – Т. 51. Серия 9.2. – С. 40–43.

31. Иванова М. В. Товароведная оценка белков муки зародышей пшеницы и использование лейкозина в производстве мучных кондитерских изделий и соусов для общественного питания : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Иванова Марина Викторовна. – М., 2011. – 128 с.

32. Троций Т. В. Технологія термоформованих гарнірів на основі знежирених зародків пшениці та їх використання у складі супів : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / Троций Тетяна Володимирівна. – Х., 2007. – 163 с.

33. Мартич В. В. Дослідження піноутворювальної здатності зародків пшениці у складі морозива молочного / В. В. Мартич, Г. С. Поліщук, М. І. Сербова // Наука та інновації. – № 5, Т. 9. – С. 10–16.

34. Использование пшеничных зародышей в производстве бисквитов / А. Д. Салавелис, С. Н. Павловский, Е. В. Осташевская, Т. П. Новичкова // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2007. – Вип. 30. – Т. 2. – С. 200–203.

35. Кравченко О. І. Удосконалення технології хлібобулочних виробів з використанням дієтичних добавок із зародків пшениці : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Кравченко Олена Іванівна. – Х., 2012. – 147 с.

36. Добавка дієтична «Шрот зародків пшениці харчовий». Технічні умови ТУ У 20608169.002-99 : – [Зміна № 3 ; чинний від 24.06.2009]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 13 с.

37. Козловський В. С. Биологически активные добавки из зародышевой пшеницы / В. С. Козловський // *Хранение и переработка зерна*. – 2005. – № 1. – С. 36–38.

38. Oliinik S. Use of new dietary additive for healthy wheat bread / S. Oliinik, G. Lisiuk, O. Kravchenko // *Functional Foods and Chronic Diseases: Science and Practice*. – 2011. – P. 202–203.

39. Пат. 65573 Україна, МПК (2006.01) А 21 D 13/08. Спосіб виробництва бісквітного напівфабрикату / Касабова К. Р., Олійник С. Г., Лисюк Г.М., Самохвалова О. В. ; заявник та патентовласник Харківський державний університет харчування та торгівлі. – № и201106067 ; заявл. 16.05.2011 ; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23. – 6 с.

40. Самохвалова О.В. Використання мікробного полісахариду ксампану для підвищення якості мафінів на основі шроту зародків пшениці / О.В. Самохвалова, К.Р. Касабова // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. / [редкол. : О. І. Черевко (відпов. ред.) та ін.]. – Харків : ХДУХТ, 2015. – Вип. 1 (21). – С. 257–267.

## Розділ 8/Chapter 8

# Актуальность применения мембранных технологий в переработке молочной сыворотки

Ю.В. Назаренко

## Actuality of use of membrane technology for the processing of whey

Julija Nazarenko\*

*Sumy National Agricultural University, Sumy, Ukraine*

---

**Abstract:** Membrane filtration is now widely used in the dairy industry and plays a decisive role in the development and production of new, innovative products and food ingredients. In many dairy plants, membrane filtration has long been successfully used to thicken milk and whey, purify salt solution, separate milk and whey into fractions, isolate protein components and is an attractive alternative to traditional processing processes.

Membrane technology, currently used for the processing of whey, can be divided into two groups: baromembrane and electromembrane. Baromembrane processes include: microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO), and to electromembrane processes - electrodialysis (ED).

The use of different membrane processes or a combination thereof can not only identify one or another component of a multicomponent system, but also to concentrate it to a certain level without changing the properties of the native and also provides the possibility of obtaining a wide range of products specified composition and properties. Nevertheless, membrane methods are relatively low-energy-intensive and allow in some cases to carry out the technological process at low temperatures (8-10 ° C), which makes it possible to preserve the useful (native) properties of the processed raw materials, products and semi-finished products (for example, there is not a denatured protein, Vitamins, enzymes, etc. remain).

The above factors affect not only the quality of the finished product, the preservation of its native qualities, without changing the original composition, but also increase the shelf life without preserving.

**Keywords:** *dairy industry, membrane filtration, milk, whey, microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, electrodialysis*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [nazarenko.sumy@gmail.com](mailto:nazarenko.sumy@gmail.com)

**Зміст**

*Вступ*

*8.1. Актуальность применения мембранных технологий в переработке молочной сыворотки*

*8.2. Молочная сыворотка – её ценность и функциональность*

*8.3. Внедрение мембранных технологий в технологический процес переработки молочной сыворотки*

*Висновки*

*Список використаних джерел*

**8.1. Актуальность применения мембранных технологий в переработке молочной сыворотки**

С позиции современных воззрений на безотходную переработку молочная сыворотка является полноценным молочным сырьем, которое можно поставить в один ряд с обезжиренным молоком, а в некоторых случаях — и с молоком. Столь стремительное восхождение сыворотки по шкале производственной значимости кроется в экологических проблемах сохранения окружающей среды, экономических аспектах дефицита молочного сырья и в создании нового направления — функционального (здорового) питания. Главенствующую роль при этом сыграли научные исследования в области глубокой переработки сыворотки [1] и динамично развивающиеся мембранные методы фракционирования и концентрирования молочного сырья. Благодаря научным исследованиям и инновационным техническим разработкам нового поколения появилась возможность экономически рентабельной переработки молочной сыворотки с созданием промышленных технологий [2].

Большой практический интерес для молочной промышленности как на ближайшую, так и на более отдаленную перспективу представляет освоение прогрессивных мембранных процессов, таких, как обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация, микрофильтрация и электродиализ, получивших широкое практическое применение в странах с развитой молочной индустрией [3].

Мембранные процессы основаны на фракционировании многокомпонентного жидкого субстрата (в нашем случае молочной сыворотки) с помощью мембран различной пористости, обеспечивающих разделение системы на фракции «концентрат» и «фильтрат» в соответствии с размерами молекул компонентов. Полупроницаемые мембра-

ны различной пористости при этом выступают в роли «молекулярного сита», проницаемого для молекул, размер которых менее диаметра пор, и задерживающего молекулы размером более диаметра пор [3].

Использование того или иного мембранного процесса или сочетания процессов позволяет не только выделить тот или иной компонент из многокомпонентной системы, но и сконцентрировать его до определенного уровня без изменения нативных свойств, что обеспечивает возможность получения широкой гаммы продуктов заданного состава и свойств (рис. 8.1).

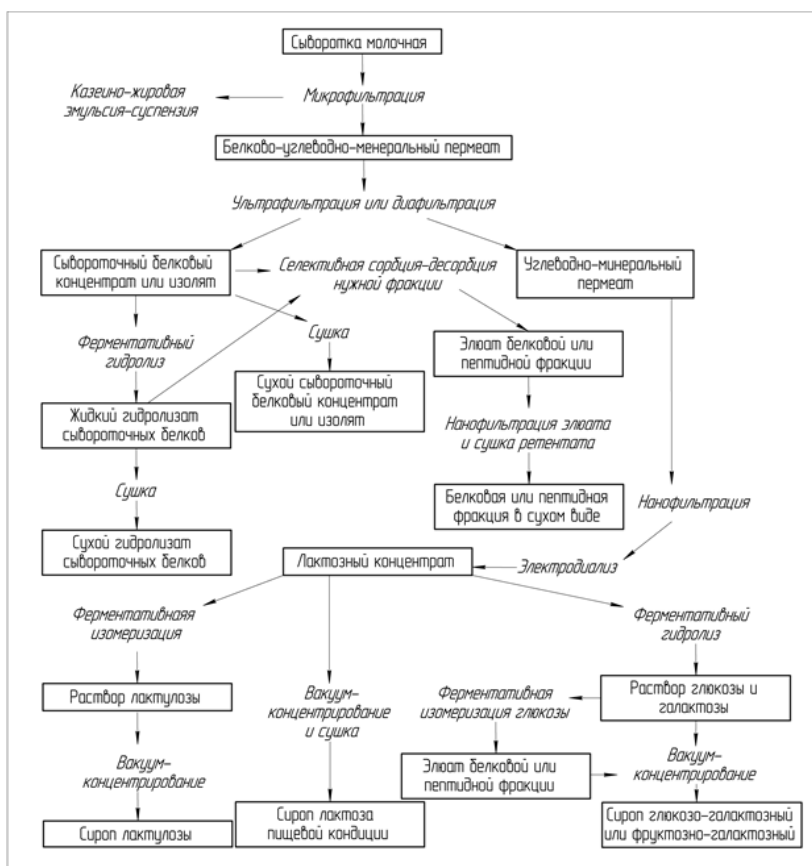


Рис. 8.1. Блок-схема безотходной переработки молочной сыворотки с использованием мембранных процессов



Мембранная фильтрация сегодня находит широкое применение в молочной промышленности и играет решающую роль в разработке и производстве новых, инновационных продуктов и пищевых ингредиентов. На многих молочных предприятиях мембранная фильтрация давно и успешно используется для сгущения молока и сыворотки, очистки солевого раствора, разделения молока и сыворотки на фракции, выделения белковых компонентов и является привлекательной альтернативой традиционным процессам переработки [4].

Использование мембранных технологий дает возможность получать продукты высокого качества с длительным сроком хранения, что на сегодняшний день для потребителя является весьма привлекательным. Кроме того, использование инновационных технологий позволяет при минимальных затратах производить молочные продукты с более высоким выходом, что является очень важным технологическим аспектом и, безусловно, интересно для производителя.

### 8.2. Молочная сыворотка – её ценность и функциональность

Молочная сыворотка – природный вторичный продукт при производстве творога, твердых сыров, казеина, который содержит в среднем 6,0-6,3 % сухих веществ, 0,05-0,50 % молочного жира, 0,6-0,9 % белка [5] (табл. 8.1). В сыворотку переходит практически весь молочный сахар (более 70 %), все соли и микроэлементы (30 % кальция, 50 % фосфора, 90 % натрия и калия, 70 % магния, 80 % хлора), почти все водорастворимые витамины молока, а также в сыворотке содержатся витамины группы В, витамин С, никотиновая кислота, холин, витамины А, Е и биотин. Эти компоненты составляют ровно половину сухих веществ цельного молока и поэтому сыворотку называют «полумолоко». Кроме того, сыворотка является относительно дешевым сырьем [10].

В зависимости от изготавливаемого продукта, существует два вида сыворотки: сладкая (подсырная – полученная в результате производства сычужных сыров, и, следовательно, имеющая рН 5.8-6.6) и кислая (творожная – полученная в результате производства творога, имеющая рН <5,0). Содержание минеральных веществ выше в кислой сыворотке в сравнении со сладкой.

Содержание основных компонентов различных видов молочной сыворотки колеблется в значительных пределах в зависимости от вида продукта, который производят, массовой доли жира в сырье и готовом продукте.

Высокую биологическую ценность сыворотки обуславливают белковые вещества, а также витамины, гормоны, органические кислоты, микроэлементы.

Полное использование всех компонентов молочной сыворотки позволяет производить продукты как для непосредственного потребления, так и для длительного хранения. Раздельное использование компонентов дает возможность извлекать молочный жир, комплекс белков или их отдельные фракции, лактозу и минеральные соли.

Оригинальным направлением является физико-химическая и биологическая обработка молочной сыворотки с целью получения производных компонентов: конверсия лактозы в лактулозу, получения ангиогенина, таурина, гидролиз лактозы до монноз, протеолиз белков ферментами, микробный синтез белков, органических кислот, этилового спирта, антибиотиков, витаминов.

Таблица 8.1

**Основные показатели сыворотки молочной [6]**

Показатель	Сыворотка молочная		
	подсырная	творожная	казеиновая
Массовая доля, % сухих веществ лактозы азотистых соединений минеральных веществ молочного жира	4,5...7,2	4,2...7,4	4,2...7,4
	3,9...4,9	3,2...5,1	3,2...5,2
	0,5...1,1	0,5...1,4	0,5...1,5
	0,3...0,8	0,5...0,8	0,3...0,9
	0,05...0,5	0,05...0,4	0,02...0,1
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не менее	1023	1023	1023
Кислотность, °Т, не более	20	75	70

### 8.3. ВНЕДРЕНИЕ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕС ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Молочной сыворотке от природы присущи полезные свойства, но для улучшения и сохранения их необходимо соблюдать рекомендации или требования технологии на всех этапах переработки.

Проблема сохранения и направленного регулирования качества молочной сыворотки после ее получения при производстве белково-жировых продуктов является актуальной и может быть решена путем концентрирования с помощью мембранных технологий [7].

Традиционная схема переработки молочной сыворотки подразумевает получение сухого продукта и может быть представлена в виде классической схемы, содержащей:

- 1) предварительную очистку сыворотки от жира и казеиновой пыли, что дает предприятию дополнительные ресурсы молочного жира и белка;
- 2) двухстадийный процесс концентрирования/сгущения сыворотки с применением мембранного оборудования, например, методом нанофильтрации, и высокоэффективных вакуум-выпарных аппаратов пленочного или циркуляционного типа;
- 3) последующую кристаллизацию лактозы в сыворотке;
- 4) многостадийную сушку кристаллизованной сыворотки.

Приведенная технологическая схема (рис. 8.2) имеет ряд ограничений, среди которых невозможность перерабатывать кислую сыворотку и небольшой ассортимент готовой продукции. Но с расширением технологической линии, внедрением в нее мембранных процессов, удастся устранить эти проблемы.

Мембранные технологии, используемые сейчас для переработки молочной сыворотки, можно разделить на две группы: баромембранные и электромембранные. К баромембранным процессам относятся: микрофильтрация (MF), ультрафильтрация (UF), нанофильтрация (NF) и обратный осмос (RO), а к электромембранным – электродиализ (ED).

Мембранные технологии в молочной промышленности используются для удаления бактерий (MF), деминерализации (NF, ED), фракционирование молока и сыворотки (UF, NF) и рециркуляции воды (RO). Все больше и больше мембранные технологии совершенствуют или полностью заменяют обычные технологические линии. Это приводит к снижению эксплуатационных расходов и увеличению мощностей существующих заводов.

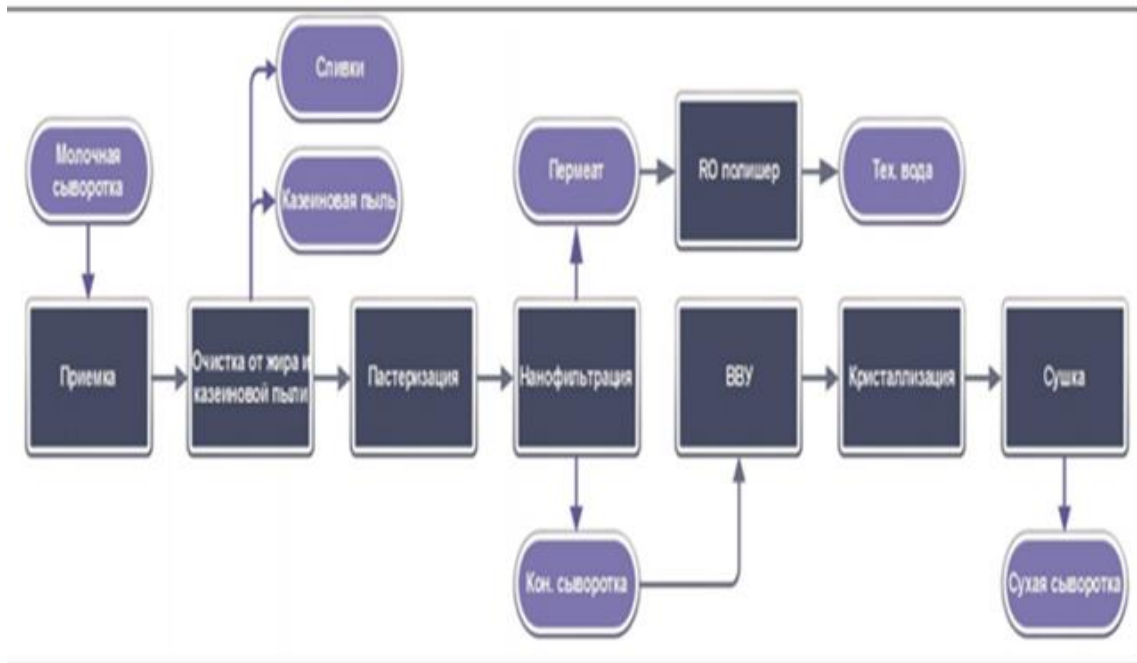


Рис. 8.2. Традиционная схема переработки молочной сыворотки [11]

Мембранные процессы основаны на фракционировании многокомпонентного жидкого субстрата (в нашем случае молочной сыворотки) с помощью мембран различной пористости, обеспечивающих разделение системы на фракции «концентрат» и «фильтрат» в соответствии с размерами молекул компонентов. Полупроницаемые мембраны различной пористости при этом выступают в роли «молекулярного сита», пропускающего молекулы, размер которых меньше диаметра пор, и задерживающего молекулы размером больше диаметра пор [3].

Использование различных мембранных процессов или их сочетание позволяет не только выделить тот или иной компонент из многокомпонентной системы, но и сконцентрировать его до определенного уровня без изменения нативных свойств, а также обеспечивает возможность получения широкой гаммы продуктов заданного состава и свойств.

### 8.3.1. Отделение подсырных сливок

В традиционных видах сыворотки содержится 0,05...0,50 % жира, что обусловлено его содержанием в исходной сыворотке. Молочный жир сыворотки характеризуется высокой степенью дисперсности [6]. Полученные из молочной сыворотки сливки (в промышленности распространен термин «подсырные сливки») по своему составу заметно отличаются от обычных сливок из натурального молока (табл. 8.2).

Таблица 8.2

#### Сравнительный состав сливок

Показатель	Сливки с массовой долей жира 20 %	
	обычные (молочные)	подсырные
Содержание, %:		
<i>СОМО</i>	7,15	4,59
<i>белков</i>	2,47	0,94
<i>лактозы</i>	3,25	3,31
<i>минеральных веществ</i>	0,46	0,29
Кислотность:		
<i>титруемая, °Т</i>	14,7	16,7
<i>активная (рН, ед.)</i>	6,25	5,94
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1001	999

Подсырные сливки имеют солоноватый вкус, в них содержится на 3-4 % меньше СОМО, практически нет казеина. Эти сливки менее термостойкие, при хранении подвергаются порче. Перечисленное обусловило отношение к подсырным сливкам как к менее ценному сырью по сравнению с обычными и привело к переработке их на полуфабрикат – подсырное масло с последующей перетопкой его или переработкой на плавленный сыр. На самом деле, молочный жир подсырных сливок практически идентичен обычным сливкам (табл. 8.3), а отличие этих продуктов обусловлено составом плазмы.

Таблица 8.3

**Состав молочного жира сливок**

Показатель	Сливки	
	обычные	подсырные
Кислотность жира, ° Т	0,98	1,96
Пероксидное число, %	0,010	0,014
Число Рейхерта-Мейсля	27,80	27,54
Число рефракции	47,10	47,40
Йодное число	31,20	32,20

Подсырные сливки можно использовать для производства качественного масла двумя способами: путем смешивания с обычными сливками в соотношении 1:9 или разбавлением обезжиренным молоком в соотношении 1:10 с последующим сепарированием с целью замены плазмы. Есть положительный опыт использования подсырных сливок для нормализации смеси при производстве натуральных сыров и сметаны. Извлечение и использование жира молочной сыворотки экономически весьма эффективно.

С помощью микрофльтрации возможно одновременное выделение и концентрирование жировой и казеиновой фазы сыворотки. Получаемая при этом «эмульсия-суспензия» имеет примерно равное содержание жира и белка и может быть использована в производстве сырково-творожных изделий, плавленных сыров и других белково-жировых продуктов.

Также применение микрофльтрации в начале технологического процесса переработки молочной сыворотки очищает её от микроорганизмов и соматических клеток, этот метод называют холодной пастеризацией.

### **8.3.2. Деминерализованная молочная сыворотка**

В настоящее время есть три способа получения деминерализованной молочной сыворотки: электродиализ, ионный обмен и нанофльтрация.

Электродиализ (ED) – более эффективный процесс деминерализации сыворотки, чем нанофльтрация (NF), поскольку получается уровень деминерализации 50-95 %. При этом большим преимуществом процесса электродиализа является возможность регулирования кислотности молочного сырья, что очень актуально при переработке кислой молочной сыворотки — творожной, казеиновой. Удаление молочной кислоты обеспечивает снижение времени кристаллизации и улучшение процесса сушки, понижение гигроскопичности сухой сыворотки, повышение степени ее растворимости. Использование процесса электродиализа позволяет организовать на молочном предприятии переработку на пищевые цели любого вида молочной сыворотки как сладкой или соленой подсырной, так и кислой – творожной или казеиновой [2].

Нанофльтрация, как правило, позволяет обеспечить деминерализацию на уровне 35 % за один этап, и до 45 % – за два этапа (после разбавления концентрата он снова проходит этап нанофльтрации).

Для концентрирования сыворотки применяется преимущественно нанофльтрация. Но для того, чтобы использовать воду, получаемую из сыворотки, на производственные цели, следует подумать об установке обратного осмоса.

При обратном осмосе можно получить те же сухие вещества, что и при нанофльтрации, но следует понимать, что энергозатраты при этом будут значительно выше. Преимущества обратного осмоса в том, что получается техническая вода, и не встает вопрос утилизации пермеата. Оптимальным решением является установка нанофльтрации совместно с обратным осмотическим полимером, позволяющим обработать пермеат и получить техническую воду и концентрат солей, который можно переработать в дальнейшем.

Деминерализованная сухая сыворотка (DWP D35, D50, D70, D90), предназначенная, например, для производства детского питания, может в зависимости от уровня деминерализации производиться при помощи нанофльтрации, комбинации нанофльтрации и ультрафиль-

трации, а также комбинации нанофильтрации и электродиализа перед выпариванием и распылительной сушкой.

Сухая деминерализованная сыворотка, содержащая 26 % белка, 2,3 % жира, 67 % лактозы, 1,7 % золы, 0,55 % кальция, 0,31 % фосфора, 0,045 % магния, 0,024 % натрия, 0,028 % калия и 0,01 % хлора, имеет диетические свойства и рекомендуется для питания людей с особыми потребностями. Из деминерализованной сыворотки готовят шоколадный и молочный напитки с фруктовыми наполнителями, пахту и сладкие десерты.

В странах с развитой молочной промышленностью сыворотку, деминерализованную электродиализом, используют как основу для производства лечебных и диетических продуктов.

При низком уровне качества переработки и без деминерализации сыворотку можно использовать на корм животным или, подвергнув ферментации, получить кормовые дрожжи, биоэтанол, биогаз, молочную кислоту, пенициллин, стартовые культуры и пр.

### **8.3.3. Концентрат сывороточного белка (КСБ)**

Благодаря достижениям в области мембранной технологии, сыворотка в настоящее время считается питательным источником белка. На сегодняшний день продукт – концентрат сывороточного белка, полученный путем ультрафильтрации (КСБ-УФ), хорошо известен в молочной промышленности во всем мире. Процесс представляет собой разделение потока на концентрат белка и пермеат. Самым ценным из них является КСБ, фракция обеднена солями и лактозой.

Содержание белков в сыворотке составляет 0,6...0,9 % и зависит от способа осаждения белков, который используют при получении основного продукта. Наибольшее содержание их в сыворотке подсырной (0,9 %), меньше в сыворотке творожной (0,27 %). В фильтрах, полученных в процессе ультрафильтрации сыворотки подсырной или молока, содержание белка очень низкое, может достигать сотых долей процента [6].

Для концентрирования сывороточного белка (частицы массой 10 кДа и выше) обычно применяют ультрафильтрацию. Нанофильтрация (граница разделения 200 Да) используется в следующем этапе процесса для удаления минеральных солей и оставления лактозы и витаминов [1, 2, 9]. С помощью ультрафильтрации возможно получение концентрата с содержанием сывороточных белков до 85 % (при комбинировании ее с диафильтрацией).



В случае применения ультрафильтрации можно сконцентрировать сывороточные белки или их отдельные фракции: требуемые компоненты задерживаются мембраной, образуя поток ретентата, а более мелкие, растворенные компоненты – лактоза, небелковые азотистые соединения, минеральные вещества проходят через поры мембран, образуя поток пермеата. Получают концентраты сывороточных белков различного состава с содержанием белка в сухом веществе от 35 до 60 %. При использовании двойной фильтрации (диафильтрации) возможно выделить высокобелковые концентраты с содержанием белка в сухом веществе 80 % и изолят сывороточных белков (более 90 % белка). В технологический участок может быть интегрирована микрофильтрация, обеспечивающая удаление излишнего молочного жира и микробиологическую чистоту готового продукта. Концентраты и изолят сывороточных белков востребованы в производстве детского и спортивного питания, молочных продуктов, в колбасном производстве [11].

Применение мембранных методов позволяет выделять сывороточные белки практически в нативном виде без использования химических реагентов и других вспомогательных дорогостоящих материалов.

### **8.3.4. Молочный сахар – лактоза**

Лактозу производят из пермеата, полученного при ультрафильтрации молочной сыворотки. Пермеат представляет собой лактозосодержащее сырье (более 80 % лактозы в сухом веществе). Для всех видов пермеатов основной проблемой является повышенное содержание минеральных веществ, в том числе кальция, а для сырья, полученного из сквашенного молока и творожной сыворотки, – еще и высокая кислотность. Содержание солей в сухом остатке пермеата может достигать 15–16 % [12, 13]. Без дополнительной обработки пермеат трудно поддается дальнейшей переработке, отрицательно влияет на состояние вакуум-выпарного и сушильного оборудования ввиду высокой минерализации, а конечный продукт из него имеет низкое качество [12, 13]. Для решения этих проблем пермеат подвергают деминерализации, что позволяет скорректировать минеральный состав, кислотность, органолептические и технологические характеристики, повысить содержание лактозы.

Деминерализованный пермеат является великолепной альтернативой пищевой лактозы в производстве многих продуктов питания, где

нет необходимости использования высокоочищенных категорий молочного сахара, как, например, в фармацевтике [11].

Технология получения чистой лактозы заключается в выделении и дополнительной очистке ее кристаллов. Все предыдущие этапы являются важными элементами и хорошим подспорьем в подготовке сырья для производства лактозы высокого качества. Внедрение электро- и баромембранных процессов обеспечивает максимальную очистку и подготовку сырья для производства лактозы, пригодной в том числе для фармацевтической промышленности.

Чистую лактозу после высушивания применяют в хлебопечении, для производства продуктов детского питания, напитков.

### **8.3.5. От лактозы до лактулозы**

Лактулоза получается в результате переработки молочного лактозосодержащего сырья (это может быть молочная сыворотка или молочный сахар) и может иметь вид либо сиропа, либо сухого порошка.

Изомеризацию сывороточной лактозы в лактулозу осуществляют следующим образом. Пермеат сыворотки в электродиализной установке подвергают одновременному обессоливаю и щелочной обработке. Далее обессоленный до ~60% пермеат сыворотки (pH 11,6-11,8) подвергают термической обработке при 65 оС в течение 20 мин. В результате этого происходит изомеризация лактозы и превращение ее в лактулозу [14].

Лактулоза – один из перспективнейших и широко известных пребиотиков, активно используется в пищевой и фармацевтической промышленности. Пищевые продукты с наличием лактулозы способны оказывать лечебное или профилактическое действие, использование ее в производстве алкогольных напитков значительно снижает их негативное действие на организм человека.

## **8.4. Факторы, которые влияют на выбор технологического процесса и качество готовых сывороточных продуктов**

Сегодня потребители выбирают качественные натуральные готовые продукты. Как было сказано выше, сыворотка имеет ряд полезных компонентов, сохранение которых является очень важным для производителя. Конечный вид продуктов из молочной сыворотки определяет, как выбор оборудования для производства, так и техноло-

гические параметры. Ведь уже с момента, когда сыворотка удаляется из аппарата для получения сырного зерна, к ней необходимо относиться как к высококачественному продукту и для сохранения ее свойств необходимо соблюдать технологию на всех этапах производства.



**Рис. 8.3. Векторная схема производства КСБ и лактозы**

Первым этапом производства является приёмка сырья. Физико-химические показатели молочной сыворотки будут зависеть от её вида. Для сохранения нативных качеств сырья поддерживается оптимальная кислотности (подсырная – не более 20 °Т, рН – 6,0-6,5; творожная – не более 75°Т, рН – 4,0-5,0).

Молочную сыворотку после сливания из аппарата для получения сырного зерна необходимо очистить и обезжирить, после чего охладить до температуры 4±2 °С.

В процессе производства основного вида белкового продукта сыворотка значительно обсеменяется молочнокислыми бактериями, а в процессе сбора, хранения и дальнейшей обработки – различной посторонней микрофлорой. Из основного производства сыворотка поступает с температурой 30 °С, что соответствует оптимальному режиму жизнедеятельности микроорганизмов. Вследствие развития микроор-

ганизмов во время сбора и хранения состав и свойства молочной сыворотки могут изменяться, а показатели качества – ухудшаться.

Лактоза подвергается молочнокислородному брожению с образованием молочной кислоты, что приводит к повышению титруемой кислотности и потерям лактозы. Кроме того, происходит гидролиз белков и жира, изменяется вкус сыворотки, могут накапливаться нежелательные и даже вредные вещества. В результате хранения без обработки в течение 12 часов молочную сыворотку практически нецелесообразно использовать для производства молочного сахара. Поэтому молочную сыворотку рекомендуется перерабатывать в течение 1-3 часов после ее получения. Если переработка задерживается, то для сохранения исходных свойств молочной сыворотки ее подвергают специальной обработке (тепловой обработке, консервированию).

Как бы тепловая обработка (пастеризация) не была эффективна, далеко не все режимы обеспечивают сохранение исходных физико-химических и биологических свойств сырья. Тепловая обработка, с одной стороны, резко уменьшает в молоке количество посторонней микрофлоры, создавая тем самым условия для направленного регулирования микробиологических процессов; с другой стороны, с повышением температуры сильно изменяется первоначальный состав и свойства сырья: снижается содержание растворимых кальциевых солей, происходит денатурация сывороточных белков и стабильность белков к воздействию этанола, повышается содержание белковых компонентов с наибольшей молекулярной массой, уменьшается содержание нуклеиновых кислот, постепенно снижаются концентрация ионизированного кальция и величина рН. Все это отрицательно сказывается на готовом продукте. Одним из известных способов бактериальной санации молочного сырья является термизация (мягкая тепловая обработка нагревом). Она не отражается существенно на составе сырья и особенно – на его биологических свойствах. Также сегодня широко используется микрофльтрация для удаления посторонней микрофлоры, но ее эффективность в этом направлении еще не полностью изучена.

Последующим технологическим этапом следует выбор установок и оптимальных режимов для производства сывороточных продуктов. В молочной сыворотке содержится большое количество минеральных веществ в виде макро- и микроэлементов. Для их удаления эффективно проводить деминерализацию. Удаление солей позволяет получить обессоленный раствор сывороточных белков и лактозы (табл. 8.4), переработка которого дает возможность вырабатывать концентрат сывороточных белков (КСБ) и молочный сахар повышенной чистоты.

Таблица 8.4

**- Содержание минеральных веществ в молочной сыворотке при различной ее деминерализации (электродиализ) [6]**

Определяемые величины в расчете на сухое вещество, на 100 г	Степень деминерализации, %			
	0	51	74	90
Зола	7670	3730	1990	790
Хлор	1640	266	17	Следы
Кальций	536	509	457	182
Железо	1,69	1,91	2,01	1,81
Медь	0,24	0,30	0,33	0,26
Цинк	0,51	1,73	1,72	1,74
Марганец	0,09	0,10	0,10	0,06

Большое значение при определении путей переработки деминерализованной молочной сыворотки имеет неизменность величины рН в процессе электродиализной обработки. Исходя из этого, деминерализованную творожную сыворотку в связи с ее низкими значениями рН, необходимо раскислять смешиванием с пищевым сырьем, имеющим нейтральную величину рН.

На этапе разделения сыворотки на составляющие, необходимо обеспечить максимальное использование всех компонентов, улучшать качественные и технологические характеристики сырья. Сегодня это возможно с помощью мембранных процессов (ультрафильтрации), которые позволяют бережно сконцентрировать все фракции белков подсырной и творожной сыворотки, полностью сохраняя их нативные свойства.

Во время проведения ультрафильтрации подсырной сыворотки массовая доля белка, сухих веществ и жира в ретентате заметно увеличились, а массовая доля лактозы и минеральных веществ возросли незначительно (табл. 8.5).

Исследования В.А. Лазарева [15] показали влияние основных технологических параметров (рабочее давление (P), температура (t), концентрация (C) и гидродинамические условия над мембраной (u)) на характеристики процесса UF разделения молочной сыворотки (проницаемость G и селективность φ). В результате исследования определили

параметры процесса UF: продольная скорость потока над мембраной  $u \geq 1,5$  м/с; давление  $P = 0,3$  МПа; температура  $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Таблица 8.5

**Изменение состава и свойств молочной сыворотки при ультрафильтрации**

Показатель	Подсырная сыворотка			Творожная сыворотка		
	сырье	ретенат	пермеат	сырье	ретенат	пермеат
Белок, %	0,58	3,30	0,02	0,60	3,09	0,03
Азот, %	0,18	0,26	0,16	0,20	0,29	0,18
Лактоза, %	4,23	5,00	4,10	3,90	4,18	3,84
Молочная кислота, %	0,13	0,14	0,13	0,60	0,60	0,60
Зола, %	0,60	0,80	0,57	0,65	0,83	0,61
Жир, %	0,05	0,10	-	0,05	0,26	-
Сухие вещества, %	5,71	9,60	4,98	6,00	9,26	5,26

Исследования Костина В. В. определили режимы процесса высокотемпературной ультрафильтрации для получения фильтрата высокой доброкачественности: температура  $(85 \pm 5)^\circ\text{C}$ , давление  $(0,35 \pm 0,05)$  МПа. Ультрафильтрат содержит на  $(33 \pm 2)\%$  меньше кальция, в  $(2,7 - 2,8)$  раза меньше белка, чем традиционный. Производительность процесса в  $(2,3 \pm 0,2)$  раза выше, чем при  $(53 \pm 2)^\circ\text{C}$  [17].

При концентрации сыворотки с помощью нанофильтрации или обратного осмоса, следует учитывать плотность и вязкость сыворотки, величины которых зависят от температуры [1]. Оптимальной является температура в диапазоне  $50 - 60^\circ\text{C}$ , при которой вязкость сыворотки снижается почти в три раза. При температуре более  $60^\circ\text{C}$  начинается денатурация белка.

И все же мембранные методы относительно малоэнергоёмкие и позволяют в ряде случаев проводить технологический процесс при пониженных температурах ( $8 - 10^\circ\text{C}$ ), что дает возможность сохранить

полезные (нативные) свойства обрабатываемого сырья, получаемых продуктов и полуфабрикатов (например, остается не денатурированный белок, сохраняются витамины, ферменты и др.).

Таблица 8.6

**Плотность и вязкость молочной сыворотки в зависимости от температуры [16]**

Температура, °С	19	32	40	50	60
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1024,8	1023,4	1022,5	1022	1021
Вязкость, мПа·с	2,72	1,97	1,51	1,11	0,66

Приведенные выше факторы влияют не только на качество готового продукта, сохранения его нативных качеств, не изменяя первоначального состава, а и увеличивают срок хранения без консервирования.

### Выводы

Мембранная фильтрация сегодня находит широкое применение в молочной промышленности и играет решающую роль в разработке и производстве новых, инновационных продуктов и пищевых ингредиентов. На многих молочных предприятиях мембранная фильтрация давно и успешно используется для сгущения молока и сыворотки, очистки солевого раствора, разделения молока и сыворотки на фракции, выделения белковых компонентов и является привлекательной альтернативой традиционным процессам переработки.

Таким образом, использование инновационных технологий дает возможность создавать конкурентоспособную продукцию превосходного качества при низкой себестоимости в условиях постоянного повышения уровня автоматизации и внедрения систем программного обеспечения процесса производства и применять высокоэффективные энергосберегающие технологии с использованием высокотехнологичных производств пищевых продуктов.

Также применение мембранных процессов в молочной промышленности дает возможность по-новому взглянуть на традиционные технологии переработки молочного сырья. Технические характеристики мембранного оборудования способствуют снижению себестоимости готовой продукции и повышению ее качества, а технологически грамотное применение данного оборудования открывает перед перерабо-

тчиками молока новые возможности в совершенствовании технологических процессов и создании новых видов продукции [2].

На сегодня из всех мембранных процессов достаточно подробно изучен процесс ультрафильтрации. А вот процесс нанофильтрации не достаточно полно и всесторонне. Изучение процесса NF сыворотки, определение оптимальных параметров процесса, исследование химического состава готовых продуктов является актуальной задачей.

### **Список использованных источников**

1. Храмов А. Г., Нестеренко П. Г. *Технология продуктов из молочной сыворотки* - М.: ДеЛи принт, – 2004. – 587 с.
2. Евдокимов И. А. Мембранные технологии переработки молочной сыворотки: синтез науки и практики // *Материалы V Международной конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», СПбГУ-НиПТ.* – 2011. С.258-259.
3. Кравченко, Э. Ф. *Прогрессивные технологии переработки молочного сырья* / Э. Ф. Кравченко, Н. В. Плисов // *Сыроделие и маслоделие.* – 2005. – № 2. - С. . 30-31
4. Pavan Kumar. *Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review* / Pavan Kumar, Neelesh Sharma, Rajeev Ranjan, Sunil Kumar, Z. F. Bhat, Dong Kee Jeong // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)* – 2013. – 26(9): 1347-1358.
5. Храмов А.Г. *Молочная сыворотка* / А.Г. Храмов - М.: Агрпромпиздат, 1990. – 348 с.
6. Чагаровський О.П. *Хімія молочної сировини: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.* / О.П. Чагаровський, Н.А. Ткаченко, Т.А. Лисогор. – Одеса: «Сімекс-прінт», - 2013. – 268 с.
7. Храмов А.Г. *Феномен молочной сыворотки* / А.Г. Храмов. – СПб.: Профессия, 2011. – 804 с
8. Храмов А.Г., Нестеренко П.Г., *Технология продуктов из молочной сыворотки: Учебное пособие.* – М.: ДеЛиПринт, 2003.
9. Евдокимов И.А. *Реальные мембранные технологии* / Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Бессонов А.С., Золоторева М.С., Поверин А.П., // *Молочная промышленность*, 2010 – № 1 – с. 49–50.
10. Огнева О. А. *Мембранные методы переработки молочной сыворотки* / О. А. Огнева, Л. В. Пономаренко, М. П. Коваленко // *Молодой ученый.* 2015. – №15. – С. 140-144.
11. Володин Д.Н. *Переработка молочной сыворотки: понятная стратегия, реальные технологии, адекватные инвестиции, востребованные продукты* / Д.Н. Володин, М.С. Золоторева, В.К. Топалов, И.А. Евдокимов, А.Г. Храмов, П. Мертин // *Молочная промышленность.* 2015 – №5 – с.111



12. Евдокимов И.А. Мембранные технологии в молочном производстве / Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Сомов В.С., Чаблин Б.В., Михнева В.А., Золоторева М.С. // Молочная промышленность. 2013 – № 9 – С. 15–16

13. Евдокимов И.А. Деминерализованный пермеат как альтернатива молочному сахару / Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Топалов В.К., Михнева В.А. // Молочная промышленность. 2013 – № 2 – С. 38

14. Патент России №2133778, 1999.

15. Лазарев В.А. Разделение и концентрирование молочной сыворотки на ультрафильтрационных обратноосмотических мембранах. - Екатеринбург – 2015.

16. Материалы XXXVII научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2007 год. Том первый. Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки. Ставрополь: СевКавГТУ, 2008 – 236 с.

17. Костина, В.В. Технология молочного сахара из ультрафильтра подсырной сыворотки / Ставрополь, 1994.

## Розділ 9/Chapter 9

# Производство белково-минеральной добавки экструзионным методом на основе отходов пищевых производств. Обзор проблем и решений

В.А. Потапов, В.В. Евлаш, М.Е. Толеген,  
Ж.А. Паржанов, Г.Р. Тастанбекова

## Production of protein-mineral additive by extrusion method based on waste products of food production. Review of problems and solutions

Volodimir Potapov, Victoriya Evlash\*,  
Marzhankul Tologen,  
Zhanibek Parzhanov, Gulnara Tastanbekova

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine  
M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Republic of Kazakhstan  
South-Western Research Institute of Livestock and Crop Production, Shymkent,  
Republic of Kazakhstan*

**Abstract:** The article reviews the problems associated with the deterioration of the forage reserve in livestock breeding and shows the perspective directions for their solution. It is shown that waste products of food production are a renewable, cheap and affordable source of raw materials for the production of high-quality and nutritious feeds, which are 2-3 times higher than forage grains. Types of food waste in meat, dairy, grain processing, fruit and vegetable, fat and oil, bakery, brewing and nonalcoholic, alcoholic, starch-and-sugar and sugar industries of the food industry are given. It is shown that they have a high energy and biological value and are easily amenable to various types of processing: physicochemical and microbiological. Methods of processing waste products of the food industry of animal and vegetable origin are considered. It is shown that the most promising technologies of fodder production are biotechnological methods based on enzymatic treatment of plant raw materials and extrusion technologies for obtaining dry mixed fodders based on a mixture of animal and vegetable wastes.

**Keywords:** *waste, food industry, secondary resources, processing, feed*

\* Corresponding author e-mail: [vvevlash@mail.ru](mailto:vvevlash@mail.ru)

Содержание

*Введение*

*9.1. Кормовой потенциал отходов пищевой промышленности*

*9.2. Технологии производства кормовых продуктов из вторичного сырья и отходов пищевой промышленности*

*9.3. Технология белково-минеральной добавки экструзионным методом на основе отходов пищевых производств*

*Висновки*

*Список використаних джерел*

Введение

Обеспечение устойчивого развития человечества — наиболее значимая проблема, стоящая перед мировым сообществом. Эта задача, поставленная в 1987 году Генеральной Ассамблеей ООН, до сих пор оно не утратила своей актуальности. Концепция устойчивого развития активно обсуждается мировыми лидерами и сегодня. В 2015 г, в Нью-Йорке на Саммите по устойчивому развитию ООН утвердил 17 глобальных целей на предстоящие 15 лет (2016-2030) среди которых ответственное потребление и сохранение экосистемы. Отмеченные цели являются ответом на глобальную проблему современного пост-индустриального общества. На сегодня в мире в производстве полезно используется только 30% сырья, 70% составляют отходы. Во всем мире постоянно накапливаются большие запасы малоиспользуемых или вообще неиспользуемых отходов сельского хозяйства, растениеводства, животноводства, зерноперерабатывающих и др. производств. Количество вторичных ресурсов в пищевой промышленности составляет 60...80% от перерабатываемого сырья, а в некоторых случаях достигает 95%. За счет не утилизируемых отходов в последние десятилетия нагрузка на окружающую среду выросла в 2,5...3 раза. Поэтому проблемы ответственного потребления и сохранение экосистемы является актуальными как никогда.

Отходы пищевых производств являются по сути возобновляемым, дешевым и доступным источником сырья для производства высококачественных и питательных кормов, которые в 2-3 раз превосходят фуражное зерно. Пищевые отходы обладают высокой энергетической и биологической ценностью и легко поддаются различным видам переработки: физико-химической и микробиологической [1-4]. В рецептах комбикормов, произведенных по традиционной технологии,

доля зерновых компонентов составляет 60-80%. Однако к началу 21 века зерно стало дефицитным товаром, поскольку мировое увеличение производства зерновых безнадежно отстает от роста потребления, связанного с интенсивным увеличением потребления в развивающихся странах. В результате этого во всех развитых странах наблюдается устойчивая тенденция к сокращению расхода зерна в производимых комбикормах. В странах Западной Европы – в составе комбикормов доля зерновых составляет только 12 – 15 %, т.е. в 4-5 раз меньше чем в отечественном кормопроизводстве. Помимо зерна комбикорма содержат в большом количестве компоненты нетрадиционного сырья, в том числе приготовленные из отходов сельского хозяйства, животноводства и растениеводства, вторичного сырья перерабатывающей и пищевой промышленности.

Оценки показывают, что в среднем на 1 кг фуражной зерносеми приходится 5 кг растительных отходов, 4 кг отходов животного происхождения и 1 кг пищевых отходов. Экономический эффект от переработки вторичных ресурсов пищевых отраслей обусловлен тем, что зачастую потенциально возможные доходы от переработки отходов пищевых отраслей могут существенно превосходить доходы от продажи основного продукта. Расчеты показывают, что без дополнительных затрат на выращивание зерна, можно поднять общую рентабельность производства комбикормов минимум на 300-400%. [5].

Таким образом, вторичные ресурсы пищевых отраслей могут стать идеальной сырьевой базой для выпуска полнорационных комбикормов. При этом одновременно решаются две проблемы – снижение себестоимости кормовой продукции за счет применения дешевых компонентов и повышение качества комбикормов за счет их сбалансированности по белку и минеральным компонентам.

### 9.1. Кормовой потенциал отходов пищевой промышленности

Рассмотрим основные отходы пищевой промышленности и наименование кормовых продуктов, которые получают из них [6].

#### 1. *Мясная отрасль.*

Вторичные сырьевые ресурсы и отходы: кровь, кости, рогакопытное сырье, шкурсырье.

Кормовые продукты: кровяная мука, заменитель цельного молока (ЗЦМ), пищевой белок, кормовой белок, мясокостная мука, костная мука, добавки в комбикорма

#### 2) *Молочная отрасль.*

Вторинные сырьевые ресурсы и отходы: обезжиренное молоко, пахта, сыворотка молочная, меласса, барда, альбуминовое молоко, пермеаты (ультрафильтраты), биомасса, смывные воды.

Кормовые продукты: ЗЦМ, пахта сгущенная, корм сырой и сухой, кормовые дрожжи, кормовые добавки, корм жидкий, корм сквашенный.

### *3) Зерноперерабатывающая отрасль.*

Вторинные сырьевые ресурсы и отходы: зерновые отходы, отруби, кормовая дробленка, лузга, мучка, зерновая сорная примесь, щуплые и проросшие зерна, семена дикорастущих растений, некондиционное зерно.

Кормовые продукты: корм в натуральном виде, кормосмеси, добавки в комбикорма, комбикорма, кормовые дрожжи.

### *4) Плодоовощная отрасль.*

Вторинные сырьевые ресурсы и отходы: семена, очистки овощей, плодов, выжимки из фруктов и овощей, плодоножки, кожица плодов, виноградные семена и выжимки, створки зеленого горошка, ботва, плоды с механическими повреждениями.

Кормовые продукты: натуральный корм, кормопродукт, кормосмеси, белковые порошки, кормовая мука.

### *5) Масложировая отрасль.*

Вторинные сырьевые ресурсы и отходы: лузга подсолнечная, жмых и шрот, хлопковая шелуха, фосфатиды, отбельные глины, погony дезодорации.

Кормовые продукты: корм в натуральном виде, комбикорма в натуральном виде и в виде гранул, кормовые дрожжи, добавки в комбикорма.

### *6) Хлебопекарная отрасль.*

Вторинные сырьевые ресурсы и отходы: мучной смет, выбой из мешков, хлебная крошка, тестовые отходы.

Кормовые продукты: корм в натуральном виде для скота и птицы

### *7) Пивоваренная и безалкогольная отрасль.*

Вторинные сырьевые ресурсы и отходы: зерновые отходы, Ростки солодовые, дробина солодовая (пивная), дрожжи пивные остаточные.

Кормовые продукты: добавка в комбикорма, корм в смеси с грубыми кормами, кормовые дрожжи.

### *8) Спиртовая отрасль.*

Вторичные сырьевые ресурсы и отходы: зернокартофельная барда, послеспиртовая мелассная барда, последрожжевая мелассная барда.

Кормовые продукты: упаренная барда, сухой корм, сухая кормовая барда, кормовые дрожжи, витамин В12, кормовой белковый продукт.

*9) Крахмалопаточная отрасль.*

Вторичные сырьевые ресурсы и отходы: картофельная мезга и сок, мезга кукурузная, экстракт кукурузный, глютен кукурузный, зародыш кукурузный.

Кормовые продукты: сырые корма, сухие корма, биомасса кормовая, сухой белковый концентрат, уваренный экстракт (на кормовые дрожжи), компонент комбикормов, высокобелковые добавки в комбикорма, ЗЦМ.

*10) Сахарная отрасль.*

Вторичные сырьевые ресурсы и отходы: свекловичный жом, меласса, фильтрационный осадок, рафинадная патока, свекловичный бой, хвостики свеклы

Кормовые продукты: сырой корм, сушеный жом, добавка в комбикорма, добавка в корма для птиц

К наиболее ценным отходам относятся отходы мясообрабатывающей промышленности (кровь, кость, субпродукты II категории, жир-сырец, рогакопытное сырье, шкурсырье и др.). Количество образующего вторичного сырья зависит от вида переработанного первичного сырья и составляет при переработке крупного рогатого скота до 56,6 % от живой массы, мелкого рогатого скота – 82,4%, свиней – 39,7%.

Белковые корма из отходов животного происхождения наиболее ценны благодаря содержанию в них полноценного белка, витаминов и минеральных веществ. Обменная энергия содержащаяся в 1 кг корма в среднем 2000 ккал. Такие корма содержат 30-80% протеина, жира – 11%, золы – до 30%, кальций 8-10%, фосфор 3-5%, натрий 1,4-1,5%, до 4-6% лизина, 2-2,5% метионина+цистина, витамины А и Е [7].

В табл. 9.1 приведены качественные характеристики некоторых отходов растительного происхождения [8]. Отходы растительного происхождения качественно дополняют комбикорма до рациональных формул кормления за счет сбалансированности по нутриентам.

В советский период на крупных перерабатывающих предприятиях существовали цеха по производству мясо-костной, рыбной, перьевой, рогакопытной и прочей муки. Отходы мелких предприятий свозили на ветсанутиль заводы, где они сжигались, либо использовались для производства кормовой муки. В настоящее время большая часть

таких заводов давно не работает, а оставшиеся не справляются с поставляемым объемом отходов.

Таблица 9.1

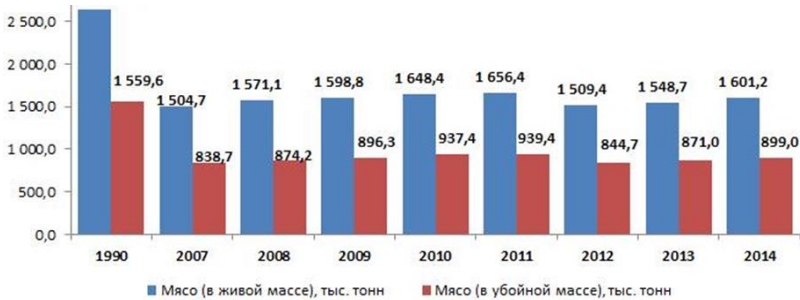
**Качественные характеристики некоторых отходов пищевой промышленности растительного происхождения**

Отходы пищевой промышленности	Влажность %	Обменная энергия в 100 г, ккал	Сырой протеин%	Сырой жир %	Сырая клетчатка%
Соевый шрот	12	265	45-50	1,9	7,0
Пшеничные отруби	13,5	183	15,2	4,2	9,0
Подсолнечниковый шрот	8,0	267	38,0-45,0	1,7	16,0
Хлопчатниковый шрот	8,0	255	37,0-42,5	1,9	16,0
Арахисовый шрот	9,0	259	40,0-45,0	1,2	8,8
Конопляной шрот	8,5	260	33,3	1,8	9,8
Дрожжи кормовые	9,0	275	42,3	1,4	1,5

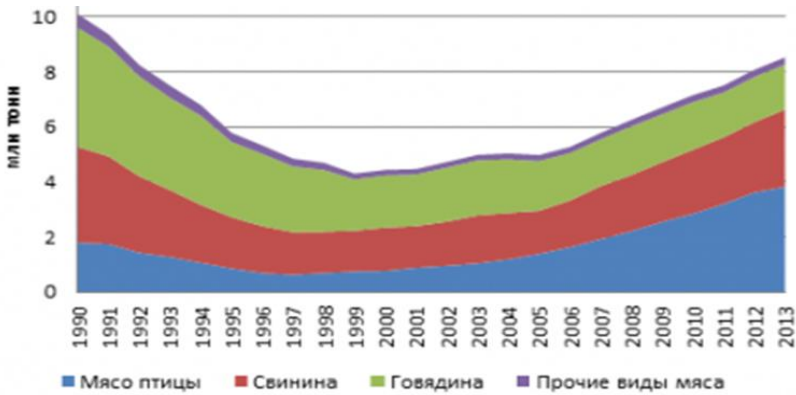
В развитых странах, количество отходов составляет одну треть от убойного веса животных. Например в Великобритании ежегодно перерабатывается более, чем 1.75 миллион тон отходов, при этом производится 250.000 тонн жира и 400.000 тонн протеиновой муки. Пищевая и перерабатывающая промышленность в странах, возникших после распада Советского Союза, достигшая в 1990-е годы пика развития, в последующий период утратила свои приоритеты, что привело к резкому снижению объемов производства мяса и соответственно объемов переработки отходов (рис.9.1-9.3).

С 2001 г. отмечается медленное, но стабильное наращивание объемов производства комбикормовой продукции. Во многом это связано с массовой организацией собственного производства комбикормов в животноводческих и птицеводческих хозяйствах. Наиболее эффективно начали работать те предприятия, которые пошли по пути интеграции комбикормовых заводов, птицефабрик и свинокомплексов путем создания кооперативов, финансово-промышленных групп, холдингов и т.д.

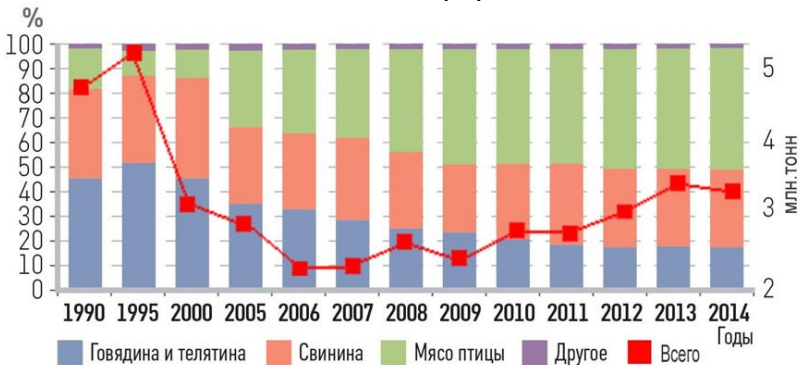
## Производство белково-минеральной добавки ...



**Рис. 9.1. Производство мяса всех видов в Республике Казахстан в живой и убойной массе, тыс. тонн [9]**



**Рис. 9.2. Производство мяса всех видов в Российской Федерации, млн. тонн [10]**



**Рис. 9.3. Производство мяса всех видов в Украине, млн. тонн [11]**



Однако до сих пор на подавляющем большинстве предприятий, имеющих собственное производство мясо-костной и другой муки животного происхождения, используются морально и физически устаревшие старые технологии и старое оборудование. В результате получается продукт с низкими потребительскими качествами.

### **9.2. Технологии производства кормовых продуктов из вторичного сырья и отходов пищевой промышленности**

Рассмотрим основные технологии производство кормовых продуктов из вторичного сырья и отходов пищевой промышленности.

Наибольший удельный вес в объеме производства продукции из вторичного сырья занимает мясокостная мука, учитывая то, что этот вид кормов является наиболее ценным компонентом в комбикормовой промышленности. Мясокостная мука получается в результате длительной варки измельченных отходов в вакуумных горизонтальных котлах с последующими сушкой и измельчением. Когда-то эта технология решала одновременно два вопроса: утилизацию отходов и получение кормовой добавки. Но с годами стали заметны высокий уровень энергозатрат, дополнительная нагрузка на водоочистные сооружения и низкая экологическая безопасность из-за образования стоков и газовых выбросов. Кроме того, прибавка в весе животного или птицы зависит не только от содержания сырого белка в корме, а и от степени его усваиваемости. По некоторым данным, доля легко усваиваемой формы белка в мясокостной муке не превышает 40 %. Оставшаяся часть из-за длительной варки переходит в трудно расщепляемую форму и, в конечном счете, увеличивает не привес, а выход навоза, тем самым усугубляя проблему его утилизации.

Для получения кормовой костной муки более высокой биологической ценности во ВНИИ мясной промышленности им В.М. Горбатова разработана принципиально новая безотходная технология, которая позволяет кратковременно обрабатывать кости при умеренных температурах сухим способом (без контакта с водой). Процесс обезжиривания осуществляется в две стадии: сначала в течение 11 мин проводят кондуктивный нагрев до температуры 85-90°C с непрерывным отводом вытопленного жира и образовавшихся соковых паров, а затем – фильтрационное центрифугирование 3-4 мин при температуре 70-80°C. Обезжиренные кости подвергают непрерывной сушке в течение 30-35 мин, измельчению и просеиванию. Полученная кормовая костная мука содержит в среднем на 70% больше протеина, чем мука, про-

изведенная по традиционной технологии. Кроме того, достоинствами технологии являются сокращение продолжительности процесса в 4-5 раз [3].

Новый вид кормовой продукции – мясокостную пасту в виде замороженных блоков производят на оборудовании, разработанном в СибНИПТИПе [12]. Кормовая ценность мясокостной пасты выше, чем стандартной мясокостной муки. Сразу же после обвалки пищевая чистая кость подается на силовой измельчитель, дробится до размеров 50×50 или 70×70 мм и поступает на установку для тонкого измельчения, где размер крошки доводится до 0,3-2 мм, и масса приобретает консистенцию пасты. Мясокостную пасту замораживают блоками массой до 30 кг, разрезают на куски 1-1,5 кг и направляют в розничную торговлю на корм непродуктивным животным. Данная технология уже внедрена на нескольких малых и средних мясоперерабатывающих предприятиях Сибири.

Одно из последних достижений в области производства кормовых продуктов из крови животных – плазма аэрозольной сушки. Схема производства сухой плазмы включает в себя асептический сбор и охлаждение крови, добавление антикоагулянта, разделение на фракции с помощью центрифуги, обратного осмоса или ультрафильтрации, аэрозольной сушки [13]. Данная технология позволяет сохранить биологическую активность функциональных белков, в частности иммуноглобулинов. Сохранность фракций иммуноглобулина плазмы крови при аэрозольной сушке в кишечнике животного варьируется от 54 до 90%. По содержанию питательных и биологически активных веществ, плазма крови приближается к рыбной муке высокого качества. Она содержит 70% сырого протеина, а также кальций, фосфор, натрий, лизин, метионин + цистин, треонин, триптофан. Исследования специалистов Северо-Кавказского НИИ животноводства показали, что особенно эффективно применение плазмы крови аэрозольной сушки в производстве комбикормов для поросят-сосунов, а включение ее (6-7%) в корм молодняка в течение двух недель позволяет на 7-8 дней сократить возраст отъема.

Новую технологию переработки крови убойных животных разработали в Харьковском университете питания и торговли [15]. Уникальность технологии заключается в стабилизации гемового железа в двухвалентном состоянии при переработке пищевой крови. Для этого используется метод сорбции белка гемоглобина на кислый полисахарид – Na-карбоксиметилцеллюлозу. Разработана многофункциональная антианемическая добавка «Гемовитал» на основе пищевой крови крупного рогатого скота, которая содержит гемовое железо в двухва-

лентном состоянии ( $Fe^{2+}$ ) и полноценный белок. В 100 граммах продукта содержатся: белки - 65,0 г, жиры - 1,0 г, углеводы - 2,5 г, гемовое железо - 0,1 г, полный комплект незаменимых аминокислот, в том числе валин - 4,91 мг; лейцин - 8,75 мг; изолейцин 5 мг; лизин 55мг; метионин + цистеин 30 мг; треонин 35 мг; триптофан 11 мг; фенилаланин + тирозин 69 мг. Это позволяет использовать "Гемовитал" как антианемическую добавку в корма молодняку свиней, а также как белково-минеральную добавку к кормам для животных и рыб.

Кератинсодержащее сырье, получаемое на мясокомбинатах (рога, копыта, волос, щетина, шерсть), составляет сравнительно небольшую часть от общего количества образующихся непищевых отходов. Основной способ переработки – гидротермическая обработка рогакопытного сырья под давлением в автоклавах различной конструкции. Процесс получения конечного продукта в сухом виде происходит в одном аппарате – вакуумном котле или в двух – вертикальном автоклаве и вакуумном котле. Высушенный продукт после охлаждения измельчают на частицы менее 3 мм, в результате получается кормовая добавка, которая содержит не более 68% протеина и 6% жира при 9% влаги. Выход продукта составляет 53% от массы свежего рогакопытного сырья.

Результаты исследований во ВГНИИ животноводства показали, что скармливание свиньям комбикорма, в котором 7% от использованной мясокостной муки заменяли кормовой добавкой из кератинсодержащего сырья, обеспечивало такие же среднесуточные приросты живой массы животных и качество свинины, что и в контрольной группе (100 % мясокостной муки).

Во ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова разработан гидротермохимический способ обработки кератинсодержащего сырья, при котором его подвергают гидролизу щелочным реагентом при давлении 0,2-0,3 МПа в течение 5-6 ч. Полученный гидролизат нейтрализуют кислотой до 7 рН. В результате такой обработки степень гидролиза кератина достигает 78-79%. Гидролизат содержит 20-25% сухих веществ, в том числе 15-16% протеина. Он характеризуется также наличием 15 микроэлементов и обладает высокой эмульгирующей способностью [3].

Новый вид кормового продукта из крови — кормовой полуфабрикат в качестве ЗЦМ для телят и поросят раннего отъема. Сырьем для ЗЦМ служат стабилизированная пищевая кровь или ее форменные элементы, рогакопытное сырье и костный пищевой жир. Технология предусматривает гидролиз рогакопытного сырья с кровью или ее форменными элементами, эмульгирование (гомогенизацию) расплавлен-

ного костного жира в растворе указанных белковых видов сырья, сушку распылительным способом [3]. Готовый продукт представляет собой порошок темно-красного цвета и имеет высокую растворимость при температуре 30-36°C. Зоотехническими испытаниями доказана высокая усвояемость полуфабриката в качестве ЗЦМ для поросят и в качестве компонента в количестве 30% полнорационного заменителя молока для телят, начиная с 14-дневного возраста, в сравнении с традиционными ЗЦМ на молочной основе.

В последнее десятилетие комбикормовая промышленность стала переходить на грануляцию растительных кормов. По этой технологической схеме можно производить гранулированные корма из сухого сырья (до 15%): пшеничных и ржаных отрубей, зерна и т.п., а также влажного (до 65%) подвяленной травы или ботвы, тростника, отжимов спиртовой барды, свежловичного жома и пивной дробины, а также подсушенного сапротеля.

Гранулированные корма пользуются достаточно большим спросом, поскольку имеют ряд преимуществ: более легкая транспортировка и хранение, повышение усвояемости. Базовая комплектация линии для производства гранулированных кормов включает в себя: агрегат сушки-измельчения, теплогенератор твердотопливный или газовый, транспортер сухого измельченного сырья, гранулятор, охладитель гранул, бункер готовой продукции.

Процесс грануляции идет при 80–90 градусах, поэтому в отличие от экструдированных кормов, крахмал не переводится в легко перевариваемые сахара. По сравнению с экструдированными кормами гранулированные имеют более низкую перевариваемость и меньшую стерильность. В тоже время потери витаминов при гранулировании меньше, чем при экструдировании, где температура нагрева более 110 °C.

При использовании сбалансированных по всем питательным веществам гранулированных комбикормов продуктивность животных растет на 12-14%, а при обогащении их витаминами, микроэлементами и другими стимулирующими веществами – на 25-30% по сравнению с тем, когда животным скармливают отдельные виды зернофуража. Применение в кормлении животных гранулированных кормов позволяет оптимизировать экономические показатели эффективности, снизить показатель конверсии корма, удешевить потребление комбикорма на единицу прироста и по сравнению с использованием масла и соевых шротов, снизить себестоимость продукции животноводства.

Большинство стран с высокотехнологичным сельским хозяйством перешли на производство кормов нового поколения с использо-

ванием технологий экструдирования. Экструзионная переработка позволяет удвоить питательную ценность корма. При использовании экструдированных кормов усвояемость пищи увеличивается почти на 40 %. Надои, среднесуточные привесы, яйценоскость и размеры яиц увеличиваются в среднем на 25 %. Кроме того, в результате использования экструдированного корма снижается общее потребление пищи и почти в два раза уменьшается число желудочно-кишечных заболеваний.

При экструзии отходов сырье за счет сухого трения подвергается кратковременному воздействию высоких давления и температуры, поэтому конечный продукт, представляет собой корм, обогащенный белками и жирами в максимально перевариваемой форме. Высокая рабочая температура позволяет получать практически стерильный продукт.

В основе работы экструдера лежит процесс выдавливание сырья при высоком давлении и температуре, образующихся за счет сухого трения, через специальные формы в стволе экструдера. В стволе экструдера последовательно проходят операции перемешивания, сжатия, измельчения, нагрева, варки, стерилизации и формования конечного продукта.

При прохождении смеси через компрессионные диафрагмы в стволе экструдера за счет трения повышаются температура и давление (более 110°C и 4 МПа соответственно). Время прохождения смеси через экструдер не превышает 30 с, а в зоне максимальной температуры она находится лишь 6 с, поэтому отрицательные эффекты термообработки сведены до минимума. Когда масса выходит из фильеры экструдера, давление сразу же падает и влага мгновенно испаряется из продукта.

В процессе экструзии крахмал, основная составляющая зернового сырья, гидролизуются и превращаются в простые моносахариды и декстрины. Содержание растворимых веществ повышается в 5-8 раз. Вместе с тем сохраняется питательная ценность протеина и полностью или значительно разрушаются вредные соединения, такие, как уреазы, ингибиторы протеаз, трипсина. Экструзионная обработка повышает перевариваемость белков, делает более доступными аминокислоты вследствие разрушения в молекулах белка вторичных связей. В результате разрыва стенок жировых клеток повышается доступность масла, увеличивается энергетическая ценность продукта. Повышается стабильность жиров благодаря тому, что такие ферменты как липаза, вызывающие прогоркание масел, разрушаются в процессе экструзии, а

лецитин и токоферолы, являющиеся природными стабилизаторами, сохраняют полную активность.

Таким образом, кормовой продукт становится более доступным действию пищеварительных соков и ферментов, улучшаются его переваримость и вкусовые качества, то есть возрастает кормовая ценность. Усвояемость зерновых кормов возрастает до 90 процентов.

Готовый продукт имеет пенистую структуру. Благодаря жесткой термической обработке и высокому давлению клетки микроскопических грибов и бактерий погибают, что обеспечивает стерильность продукта и продолжительность хранения.

Особенность экструзионной технологии состоит в том, что исходная влажность сырья не должна превышать 25–30 %, поэтому высоковлажные измельченные отходы животного происхождения смешивают с сухим растительным наполнителем в соотношении один к трем или один к четырем.

Преимущества экструзионной технологии переработки вторичного сырья состоит в возможности получения полноценных комбикормов за счет оптимального сочетания животного и растительного сырья, что позволяет на одной технологической линии производить ассортимент кормовых продуктов для крупного и мелкого рогатого скота, свиней, птиц, рыб, пушных зверей и домашних животных.

Технологический процесс экструзионной технологии включает в себя измельчение отходов животного и растительного происхождения, их смешивания, экструзии, подсушки и охлаждении готового продукта. Такая технология гораздо более экологична, чем традиционная с использованием варочных котлов, поскольку не образуются жировые стоки, отсутствуют вредные испарения и сбросы сточных вод. Промышленностью производятся эструдеры различной мощности, рассчитанные на переработку от 50 кг до нескольких тонн в час, поэтому их можно использовать при любом объеме отходов.

Оборудование для экструзионной линии стоит дешевле, чем варочное оборудование для такого же количества отходов. Таким образом, использование экструзионной технологии выгодно малым и средним предприятиям, имеющим ограниченный бюджет и сравнительно небольшой объем отходов. По данным компании «Агро-3», себестоимость белковой кормовой добавки, получаемой экструзионным способом, не превышает 4 руб/кг. При этом стоимость энергозатрат на переработку 1 кг биологических отходов данным способом не превышает 80 коп., тогда как при переработке традиционными способами стоимость энергозатрат не ниже 4 руб. [16].

Перспективним методам переробки отходов пищевых производств являются биотехнологический способ на основе ферментативной обработки.

Технология микробиологической биоконверсии разработана компанией «Биокомплекс» и предназначена для переработки сырьевых компонентов, не используемых в традиционном кормопроизводстве, в высококачественные углеводно-белковые кормовые добавки и комбикорма [17]. Суть технологии заключается в следующем: сырьевые компоненты (отходы) содержащие сложные полисахариды – пектиновые вещества, целлюлозу, гемицеллюлозу и др. подвергаются воздействию комплексных ферментных препаратов, содержащих пектиназу, гемицеллюлазу и целлюлазу.

Таким образом, любое растительное сырье и его производные, как лигноцеллюлозный источник, доступны для микробиологической биоконверсии в углеводно-белковые корма и кормовые добавки. В процессе биоконверсии в некондиционных компонентах уничтожаются болезнетворная микрофлора, яйца гельминтов, возбудители тяжелых заболеваний, а также вредные паразитирующие простейшие (аскариды, солитеры и др.). При этом кормовая ценность некондиционного сырья после соответствующей обработки превышает кормовую ценность кондиционных аналогов в 1,4-1,8 раз.

В зависимости от вида исходного сырья и требований к готовой продукции, весь процесс микробиологической обработки может длиться от 4 до 6 суток. С увеличением длительности процесса снижаются финансовые затраты на переработку сырья и повышаются зоотехнические показатели конечной продукции. Технология экологически безопасная, не имеет сточных вод и выбросов. Средние затраты на производство 1 кг. высококачественного корма по рассматриваемой технологии не превышают 1 руб., а по кормовой ценности превышают показатели фуражного зерна в 1,8-2,4 раз.

Во ВНИИМПе имени В.М. Горбатова разработаны биотехнологические способы переработки преджелудков крупного рогатого скота с получением кормового обогатителя, сухого растительно-животного, белково-растительного, белково-углеводного кормов (БУК). Наиболее интересным является использование термообработки и щелочного гидролиза каньги при температуре 83-85°C и последующем сбраживании получаемой субстанции молочнокислыми бактериями. В результате образуется биомасса, содержащая высокоусвояемый белок. В нем содержится на 18,5% больше протеина, на 41 % больше безазотистых экстрактивных веществ и на 28 % меньше клетчатки, чем в предложенном ранее белково-углеводном корме [18].

### 9.3. Технология белково-минеральной добавки экструзионным методом на основе отходов пищевых производств

Учеными Украины и Казахстана разработана технология белково-минеральной добавки путем переработки вторичного мясного сырья: крови, кости, субпродуктов, рогакопытного сырья и пищевых отходов растительного происхождения: зерновых отходов, отрубей, лузги, мучки, хлебной крошки, жмыха, шрота, барды, которая может быть использован в качестве полноценного комбикорма или как основной ингредиент для включения в самые разнообразные рационы питания животных. Технологический процесс получения экструзионной белково-минеральной добавки состоит из измельчения отходов, их смешивания, экструзии, подсушки и охлаждения готового продукта. Принцип экструзионной технологии получения белково-минеральной добавки состоит в следующем: при прохождении смеси через компрессионные диафрагмы в камере экструдера за счет трения повышаются температура и давление (более 110°C и 4 МПа соответственно). Время прохождения сырья через экструдер не превышает 30 с, а в зоне максимальной температуры она находится лишь 6 с, поэтому отрицательные эффекты термообработки сведены до минимума. Вместе с тем за это время сырье обезвоживается (содержание влаги снижается на 50-70%), стерилизуется и обеззараживается (болезнетворные микроорганизмы, грибки, плесень полностью уничтожаются), увеличивается в объеме (вследствие разрыва молекулярных цепочек при выходе сырья из экструдера), гомогенизируется (процессы измельчения и перемешивания сырья в экструдера продолжают, продукт становится полностью однородным), стабилизируется (нейтрализуется действие ферментов, вызывающих прогоркание продукта, таких как липаза и липоксигеназа, частично денатурируются афлотоксин и микотоксин, чьи антипитательные свойства отрицательно влияют на физиологическое состояние и рост животных и птицы). Белково-минеральная добавка имеет влажность не более 14%; протеина — 14-22%, (зависит от вида перерабатываемых отходов); срок хранения — в мешках не менее 6 месяцев; бактериальная чистота — не более 20 тыс. ед.; энергетическая ценность — 290-310 ккал в 100 г продукта. Продукт обладает более высокой усвояемостью (на 25-30% выше традиционной), что позволяет увеличить привесы при кормлении и резко уменьшить объем отходов жизнедеятельности. Это вызвано тем, что в процессе экструзионной обработки ингибируются трипсин, уреазы; крахмал желатинизируется,



что повышает его усвояемость, повышается стабильность жиров благодаря разрушению липазы, вызывающие прогоркание масел, сохраняют лецитин и токоферолы, являющиеся природными стабилизаторами.

В качестве сырья используются отходы вторичного мясного сырья мясоперерабатывающих предприятий и растительные отходы зерноперерабатывающей, масложировой, хлебопекарной отраслей пищевой промышленности. Предлагаемая экструзионная технология позволит проводить переработку практически всех отходов мясоперерабатывающей промышленности и основные отходы зерноперерабатывающей, масложировой, хлебопекарной отраслей пищевой промышленности.

Потенциальные потребители белково-минеральной добавки птицефабрики, свиногокомплексы, мясоперерабатывающие предприятия, зверохозяйства, комплексы по откорму КРС, комплексы по выращиванию рыбы и др

Конкурентные преимущества продукта обеспечены уникальной технологией быстрой экструзии под высоким давлением, в результате которой отрицательные эффекты термообработки сведены до минимума. Сырье одновременно обезвоживается, стерилизуется и обеззараживается, увеличивается в объеме, гомогенизируется, стабилизируется (нейтрализуется действие ферментов). Белково-минеральная добавка имеет влажность не более 14%; протеина — 14-22% (в зависимости от вида перерабатываемых отходов); срок хранения — в мешках не менее 6 месяцев; бактериальная чистота — не более 20 тыс. ед.; энергетическая ценность — 290-310 ккал в 100 г продукта.

Проведенное исследование в Южном Регионе Казахстана по возможности реализации комбикормов на основе белково-минеральной добавки показало, что аналогичная продукция малоизвестна. В данном сегменте продаж находится только мясо-костная мука, поэтому выпускаемая продукция будет ориентирована 100% на казахскую сырьевую базу. Предлагаемая экструзионная технология позволит проводить переработку практически всех отходов мясоперерабатывающей промышленности, используя экологически чистую электроэнергию, при этом отсутствуют выбросы в окружающую среду.

### Выводы

Наращивание темпов экономического развития в сельском хозяйстве, и пищевой промышленности привело к обострению проблемы использования и утилизации сопутствующих отходов. На сегодня в

мире в производстве полезно используется только 30% сырья, 70% составляют отходы. Количество вторичных ресурсов в пищевой промышленности составляет 60...80% от перерабатываемого сырья, а в некоторых случаях достигает 95%. За счет неutilизированных отходов в последние десятилетия нагрузка на окружающую среду выросла в 2,5...3 раза. Таким образом, объемы производства сырья потенциально пригодного для кормовых целей, многократно превосходят объемы специально производимых фуражных компонентов.

Наиболее перспективными направлениями развития альтернативных технологий кормопроизводства являются биотехнологические методы на основе ферментативной обработки растительного сырья и экструзионная технология получения полноценных сухих комбикормов на основе оптимального сочетания отходов животного и растительного происхождения.

Эти технологии являются экологически безопасными, поскольку отсутствуют вредные испарения и сбросы сточных вод, экономически эффективны как при малых производительностях в условиях мелких хозяйств, так и в условиях многотонного производства.

### Список использованной литературы

1. Сизенко Е.И., Комаров В.И. Вторичные сырьевые ресурсы пищевой и перерабатывающей промышленности АПК России и охрана окружающей среды // Справ. под общ. ред. Сизенко Е.И. М., 1999. - 68 с.
2. Вороников И.Л., Петров К.А., Кононыхин В.В. Ресурсосберегающее развитие перерабатывающих отраслей АПК // Экономика с.-х. и перераб. предприятий. 2010. № 10. - С. 21-23.
3. Файвишевский М.Л. Отходы - в доходы // Агробизнес - Россия. - 2009. - № 4. - С. 33-35.
4. Кадыров Д.И. Непищевые отходы - в доходы // Мясная индустрия. - 2007. - № 7. - С. 49-52.
5. Косолапов В.М. Кормопроизводство: проблемы и пути решения // Ваш сельский консультант. 2010. № 2. - С. 25-28.
6. Сизенко Е.И., Комаров В.И. Вторичные сырьевые ресурсы пищевой и перерабатывающей промышленности АПК России и охрана окружающей среды // Справ. под общ. ред. Сизенко Е.И. - М., 1999. - 68 с.
7. Белоусова Н.И., Мануйлова Т.А. Комплексное использование сырья на предприятиях мясной промышленности // Пищевая пром-сть. 2007. - № 7. - С. 33-41.
8. Гуменюк Г. Д. Использование отходов промышленности и сельского хозяйства в животноводстве / Г. Д. Гуменюк, А. М. Жадан, А. Н. Коробко. — 3-е изд. — Киев: Урожай, 1991. — 213 с

9. Аналитический обзор по животноводству - КазАгро [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.kazagro.kz/analiticeskij-obzor-po-zivotnovodstvu>.

10. Аналитический обзор по животноводству - КазАгро [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.kazagro.kz/analiticeskij-obzor-po-zivotnovodstvu>.

11. Производство мяса в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://newsruss.ru/doc/index.php/Производство\\_мяса\\_в\\_России](http://newsruss.ru/doc/index.php/Производство_мяса_в_России)

12. Мясная и молочная промышленность Украины [Электронный ресурс]. <http://www.meatmilk.kiev.ua/>

13. Вольф Т.Т., Углов В.А., Долгушина В.П., Бородай Е.В. Переработка пищевой кости на малых и средних мясоперерабатывающих предприятиях // Мясная индустрия. – 2007. – № 6. – С. 53-54.

14. Петрушенко Ю.Н., Гусейнов С.В. Плазма крови вместо рыбной муки // АгроРынок. На стол зоотехнику. – 2010. – № 2. – С. 20-21.

15. Євлаш В. В. Технологія харчових добавок із крові забійних тварин. Показники якості й безпеки / В. В. Євлаш // Тваринництво 21 сторіччя: новітні технології, досягнення та перспективи : Наук.-техніч. бюл. № 94 / Ін-т тваринництва УААН. – Харків, – 2006. – № 94. – С. 139–144/

16. Носкова М.А. Утилизация отходов забоя сухой экстрезией // Техника и оборуд. для села. – 2009. – № 6. – С. 18-19.

17. Компания биокомплекс/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://biokompleks.ru/work/waste/>.

18. Белоусова Н.И., Мануйлова Т.А. Использование жиросодержащих отходов мясной промышленности [Текст] // Мясная индустрия. – 2008. – № 4. – С. 57- 59. – ISSN 0869-3528.

# ЧАСТИНА II

---

## Енергоефективна переробка та зберігання



*За загальною редакцією*

**професора Потапова В.О.**

*завідувача кафедри холодильного і торгового обладнання  
Харківського державного університету харчування та торгівлі*

## Розділ 10/Chapter 10

# Системно-динамічне моделювання процесу інфрачервоного жарення м'ясних напівфабрикатів

В.О. Потапов, С.М. Костенко

## System-dynamic modeling of infrared semi-product meat frying

Volodimir Potapov\*, Stanislav Kostenko

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine*

---

**Abstract:** Physical, analytical and system-dynamic modeling is carried out in the work in order to confirm the uniformity of infrared radiation in the process of frying meat semi-finished products using ARJM-0.07-1 apparatus. A key element of the apparatus is a reflector with a profile that provides a uniform irradiation of the receiver with a semi-elliptical cross-section, which is a two-dimensional model of the form of steaks and languets. Comparison of finishing time with was obtained as a result of modeling the kinetics of temperature and with use the ARJM-0.07-1 apparatus, confirmed the effectiveness of the developed model for determination the inner layers temperature of meat products at infrared frying. The use of system-dynamic modeling at software package Vensim makes it possible to complete and qualitative assessment of the impact of factors such as reflector coefficient, power unit, electricity price, to the nature and value of the output function, i.e. the realization of steak, and the cost of electricity consumed. Experimentation with simulation models of thermal processing provides a systemic basis for intensification and optimization of processes and equipment for food production.

**Keywords:** *infrared frying, temperature kinetics, reflector profile, frying apparatus, system analysis, simulation model*

---

\* Corresponding author e-mail: [potapov@bigmir.net](mailto:potapov@bigmir.net)

## Зміст

### *Вступ*

*10.1. Фізичне та аналітичне моделювання інфрачервоного жарення*

*10.2. Моделювання кінетики температури м'ясних напівфабрикатів під час ІЧ-жаріння*

*10.3. Імітаційне моделювання комплексної оцінки апарата*

*Висновки*

*Список використаних джерел*

## Вступ

Вирішення проблеми повноцінного харчування не можна розглядати відокремлено від пов'язаних з цим економічних та соціальних проблем. Цю задачу треба розглядати і вирішувати в рамках системного підходу, який відповідає концепції сталого розвитку людства, а саме: створення будь якого продукту чи технології повинно реалізовувати не тільки покращення здоров'я за рахунок покращення фізичного та емоційного стану, але й враховувати економічні, соціальні і екологічні наслідки впровадження таких технологій. У вузькому сенсі не можливо розглядати створення нової технології в харчових виробництвах відокремлено від апаратурного забезпечення цього процесу і навпаки.

В даному розділі ми намагались навести приклад такого системного підходу до вирішення проблеми оптимізації способу жарення м'ясних напівфабрикатів при застосуванні інфрачервоного опромінення (ІЧ-опромінення).

Як відомо, головною перевагою ІЧ-жарення є скорочення терміну теплової обробки, що зменшує енерговитрати та підвищує якість продукту – зменшуються втрати маси продукту та швидкість перебігу небажаних фізико-хімічних змін. З іншого боку, обмеження інтенсифікації ІЧ-жарення зумовлено тим, що за високої густини випромінювання може відбуватися перегрівання поверхні та поява «опіків», які значно погіршують якість готових виробів.

Для вирішення цієї проблеми нами проведено комплекс теоретичних та експериментальних досліджень, метою яких є обґрунтування раціональної конструкції апарата для ІЧ-жарення м'ясних напівфабрикатів, що дозволить проводити якісну та економічну теплову обробку харчової продукції за рівномірної густини променевого потоку на поверхні продукту та мінімізації втрат теплоти.

У першому підрозділі проведено фізичне та аналітичне моделювання з метою доведення рівномірності інфрачервоного опромінення

під час жарення м'ясних напівфабрикатів за використання апарату АРЖМ-0.07-1. Головним елементом апарату є рефлектор із профілем, який забезпечує рівномірне опромінення приймача з півеліптичним профілем. Конструкція апарата уможливила фізичний експеримент для оцінки рівномірності опромінення м'ясного напівфабрикату. Аналітичне моделювання виконувалося за допомогою системи комп'ютерної алгебри MathCAD. Порівняння густини опромінення довело ефективність створеної методики профілювання відбивача променевого потоку в жарильному обладнанні.

У другому підрозділі проведено аналітичне моделювання кінетики температури м'ясних напівфабрикатів під час інфрачервоного жарення. Результатом дослідження є рівняння кінетики середньої температури внутрішніх шарів продукту у часі, що враховує теплофізичні та геометричні характеристики продукту, а також потужність випромінювача. Результати аналітичного моделювання отримано за використання системи комп'ютерної алгебри MathCAD. Час реального жарення визначався температурою готовності внутрішніх шарів продукту в апараті АРЖМ-0.07-1. Порівняння часу готовності доводить ефективність розробленої моделі для визначення температури внутрішніх шарів м'ясних напівфабрикатів під час інфрачервоного жарення.

У третьому підрозділі шляхом системно-динамічного моделювання виконано комплексну оцінку апарата АРЖМ-0.07-1. Використання системно-динамічного моделювання уможливує повну та якісну оцінку впливу головних факторів на характер та значення вихідної функції.

### 10.1. Фізичне та аналітичне моделювання інфрачервоного жарення

Обробка харчових продуктів ІЧ-опроміненням полягає в інтенсивному поглинанні основної частини променистої енергії вільною водою, яку містить структура харчових продуктів. Використання ІЧ-опромінення інтенсифікує харчові процеси внаслідок значного зростання густини променевого потоку на поверхні продукту, а також проникнення теплової енергії всередину матеріалу.

Найпоширенішими ІЧ-установками для жарення харчових продуктів є грилі, шафи, печі та інші пристрої. Головними елементами апаратів ІЧ-нагрівання є камера, випромінювачі (світлі або темні, до спектра яких входить відповідно зона видимих або невидимих променів), і прилади регулювання. Але основною проблемою при розробці

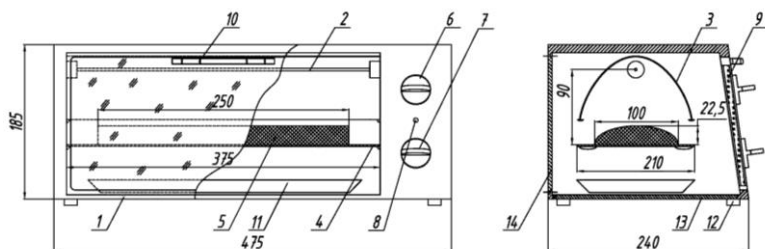
ІЧ-установок є профілювання рефлекторів для рівномірного опромінювання продукту.

На сьогодні задача про опромінювання приймача опуклого профілю (який найбільш відповідає геометрії продукту) розв'язується емпірично, тобто за приблизною та витратною методикою [1, 2]. Як наслідок, існуюче інфрачервоне устаткування харчових виробництв є не виправдано енергоємним та малоефективним.

Інші дослідники цієї проблеми використовували методики, що не забезпечували рівномірне опромінення приймача опуклого профілю [3, 4, 5, 6] через наявність так званого «затінку», куди не потрапляло пряме опромінення. Раніше на підґрунті розв'язку зворотної задачі опромінювання було створено методику визначення профілів відбивачів для рівномірного опромінювання півеліпсу [7, 8]. Вірогідність методики була доведена шляхом комп'ютерного моделювання за використання комплексу TracePro [9, 10] та фізичного експериментування за допомогою експериментального апарату [11, 12].

Порівняємо результати фізичного експерименту та аналітичного моделювання ІЧ-жарення м'ясних напівфабрикатів за використання апарату з рефлектором для АРЖМ-0.07-1 [13, 14].

Загальний вигляд апарату АРЖМ-0.07-1 наведено на рис. 10.1.



**Рис. 10.1.** Загальний вигляд апарату АРЖМ-0.07-1:

- 1** – корпус; **2** – випромінювач; **3** – рефлектор; **4** – ґрати; **5** – продукт;
- 6** – регулятор потужності; **7** – таймер; **8** – індикаторна лампа;
- 9** – скляні дверцята; **10** – ручка дверцят; **11** – деко; **12** – ніжки;
- 13** – відкидний піддон; **14** – знімна кришка

Як нагрівач використано випромінювач КИ 220-1000-1, у якого напруга живлення становить 220 В, потужність 1000 Вт, температура випромінювача 2540...2580 К, діаметр спіральної ділянки випромінювача 1,3 мм, довжина спіральної ділянки випромінювача 260 мм, діаметр скляної трубки 10,75 мм, довжина трубчастої частини 295 мм.



Сталеві ґрати розміром 375x210 мм встановлюються на відстані 90 мм від осі випромінювача.

Рефлектор виготовлено з полірованого листа алюмінію розмірами 375x214 мм, що відповідає довжині випромінювача та ширині робочої камери, а також визначається розв'язком оберненої задачі опромінювання для цієї теплової системи [7, 8].

Для визначення температурного поля було використано датчики температури [15] з термопарами хромель-алюмель, виконані зі сталі 18ХН10Т. Виключення похибки, викликані стоком теплоти проводами термопар та розтяжками кріплення приймача у корпусі датчика, забезпечується виконанням розтяжок та робочої ділянки термопар з проволочки діаметром 0.2 мм. За термопарою встановлено екран з полірованого алюмінію з метою виключення стоку тепла випромінюванням з задньої стінки приймача на інші елементи датчика і для підвищення ступеня поглинання. Зачорнений датчик закріплено на вимірвальній панелі стійками малого перерізу, що зменшує стік теплоти (рис. 10.2). Монтаж стійки з датчиками було здійснено на відстані 67.5 мм від випромінювача (горішня точка перерізу продукту).

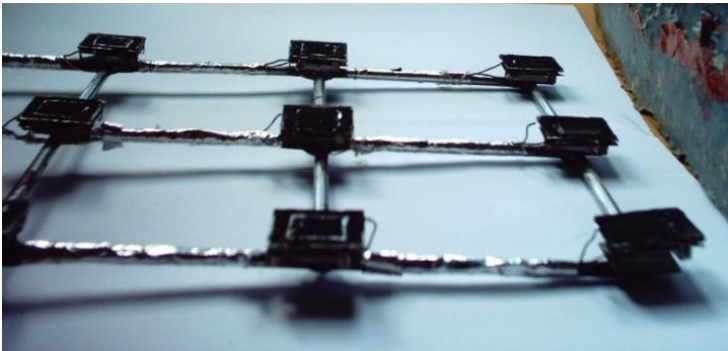


Рис. 10.2. Загальний вигляд рамки з датчиками ІЧ потоку

Щільність променевого потоку було визначено за законом Стефана–Больцмана:

$$q_{\text{ПР}} = \frac{1}{\varepsilon_{\text{Д}}} \cdot C_{\text{О}} \cdot \left( \frac{T_{\text{Д}}}{100} \right)^4, \quad (10.1)$$

де  $q_{пр}$  – щільність падаючого променевого теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;  $T_{д}$  – температура датчика, К (визначається терморезисторами);  $C_0 = 5.67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$  – стала Стефана–Больцмана;  $\varepsilon_{д} \approx 0.96$  – коефіцієнт чорноти датчика.

Температура на дев'ятьох датчиках визначалася через 2 хвилини після вмикання апарату, після чого за формулою (1.1) обчислювалося поле променевого потоку. За незмінних умов експерименту було оцінено середнє арифметичне значення температури  $T_C$  та визначено точність вимірювань.

Значення похибки знайденої оцінки середнього арифметичного визначалося довірчим інтервалом  $\varepsilon_{\beta}$ . Вірне значення з заданою довірчою вірогідністю становило  $T = T_C \pm \varepsilon_{\beta}$ . Було обрано довірчу вірогідність  $\beta = 0.9$ , кількість експериментів становила  $n = 6$ , кількість ступенів свободи вибіркової дисперсії  $f = n - 1 = 5$ . За цих умов статистичний критерій Ст'юдента  $t(\beta, f) = 2.015$  [16].

Обчислення зданих за допомогою прикладного пакету MathCad надало середні значення температури з довірчим інтервалом  $\pm 3^\circ\text{C}$ , за якими було отримано значення густини опромінювання (рис. 10.3). Збільшення значення густини від середини рамки до країв зумовлено тим, що рамка пласка, на відміну від опуклого продукту.

Густина опромінювання, Вт/м<sup>2</sup>

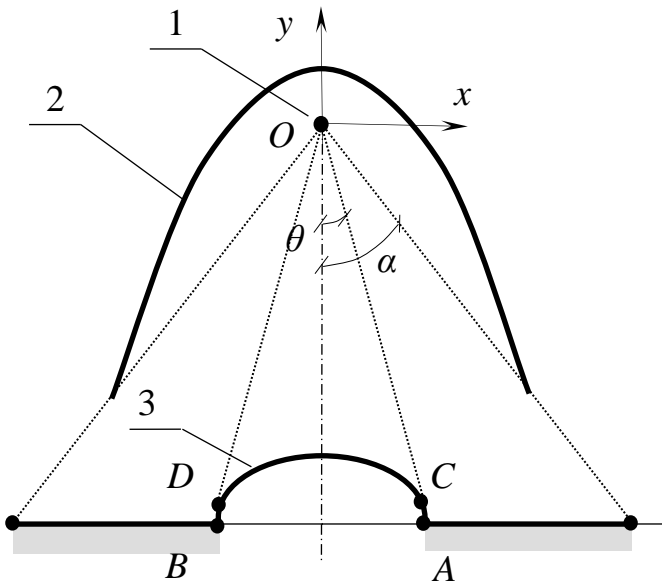
$$q_{пр} = \begin{pmatrix} 4.38 \times 10^4 & 2.844 \times 10^4 & 2.58 \times 10^4 & 2.844 \times 10^4 & 4.38 \times 10^4 \\ 4.77 \times 10^4 & 3.127 \times 10^4 & 2.844 \times 10^4 & 3.127 \times 10^4 & 4.77 \times 10^4 \\ 4.975 \times 10^4 & 3.276 \times 10^4 & 2.983 \times 10^4 & 3.276 \times 10^4 & 4.975 \times 10^4 \\ 4.77 \times 10^4 & 3.127 \times 10^4 & 2.844 \times 10^4 & 3.127 \times 10^4 & 4.77 \times 10^4 \\ 4.38 \times 10^4 & 2.844 \times 10^4 & 2.58 \times 10^4 & 2.844 \times 10^4 & 4.38 \times 10^4 \end{pmatrix}$$

Рис. 10.3. Значення густини за фізичного експерименту

Згідно з розробленою методикою [7, 8] променевий потік рівномірно розподіляється на еліптичній поверхні з такою густиною:

$$q = \frac{Q}{\pi L} (\pi + \theta - \alpha) \times \frac{1}{l_B}, \quad (10.2)$$

де  $\alpha$  – половина кута, в якому поширюються промені, що не потрапляють на рефлектор (рис. 10.4);  $\theta$  – половина кута, в якому поширюються промені, що потрапляють на приймач (рис. 10.4);  $Q$  – потужність випромінювача;  $L$  – довжина половини еліпса;  $l_B$  – довжина випромінювача.



**Рис. 10.4.** Схема теплотехнічної системи:  
1 – випромінювач; 2 – відбивач; 3 – приймач теплоти

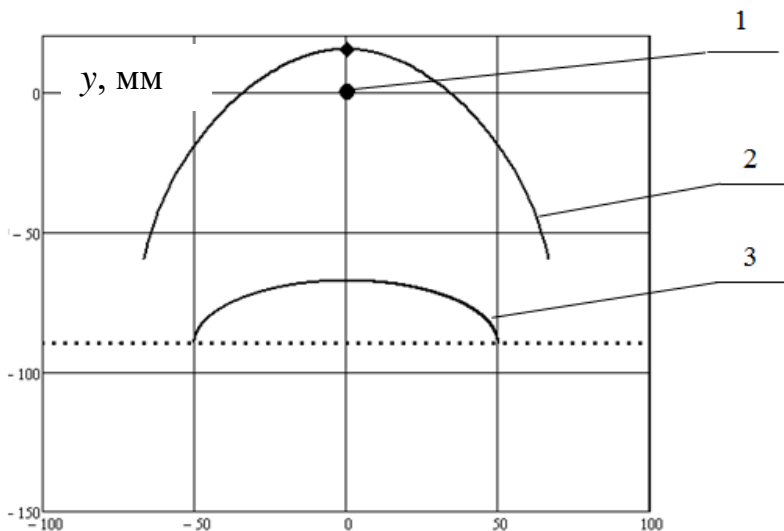
Відповідно до розмірів робочої камери та обраного перерізу продукту (рис. 10.5)

$$\alpha = 0,838; \quad \theta = 0,521; \quad L = 118,017 \text{ мм.}$$

Для випромінювача потужністю 1 кВт і довжиною 0.25 м, густина променевого потоку складає

$$q = \frac{1000}{3,14 \cdot 118,017 \cdot 10^{-3} \cdot 1} (3,14 + 0,521 - 0,838) \times \frac{1}{0,25} \approx 30,48 \text{ кВт/м}^2. \quad (10.3)$$

На рис. 1.5 координатна сітка відповідає абсолютним розмірам теплотехнічної системи.



**Рис. 10.5. Схема апарата АРЖМ-0.07-1:  
1 – випромінювач; 2 – відбивач; 3 – приймач теплоти**

Прямий потік  $q_1$  потрапляє лише на ділянку  $CD$ , що обмежена дотичними від випромінювача до півеліпса (рис. 1.4). Отже, у зонах «затінку»  $AC$  та  $BD$  максимальне значення сумарного опромінення  $q$  відповідає значенню відбитого потоку  $q_2$ . У зоні впливу прямого потоку  $CD$  ми змушені зменшувати відбитий, щоб складання прямого  $q_1$  та відбитого  $q_2$  потоків надало незмінне значення сумарного  $q$ . Розроблена раніше аналітична методика [7, 8] дає можливість отримати рівняння профілю рефлектора, якій відповідає цим вимогам опромінення.

Характер та значення у  $\text{Вт/м}^2$  густини опромінення прямого  $q_1$ , відбитого  $q_2$  та сумарного  $q$  потоків залежно від безрозмірної відносної координати приймача  $\xi$  [7, 8] наведено на рис. 10.6, 10.7 та 10.8.

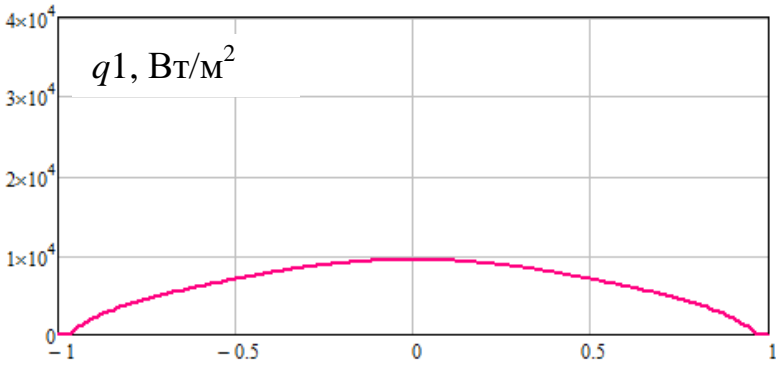


Рис. 10.6. Значення прямого потоку ІЧ-опроміювання

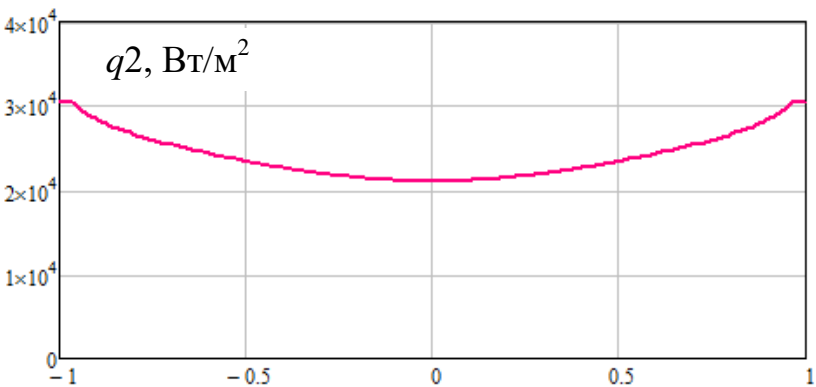


Рис. 10.7. Значення відбитого потоку ІЧ-опроміювання

Порівняння значень сумарної густини опромінення, отриманих шляхом аналітичного та фізичного моделювання, наведено на рис. 1.9. За поземною віссю відкладено абсолютний розмір приймача  $x$  (мм), за прямою віссю – абсолютний розмір приймача  $y$  (мм) та значення сумарної густини опромінення  $q$  ( $\text{kWt/m}^2$ ).

Суцільною лінією вказано півеліптичний профіль приймача, пунктирною – рівномірну аналітичну густину опромінення. Круги нада-

ють розташування термопар, кола – значення густини опромінення у цих точках (центральний переріз продукту).

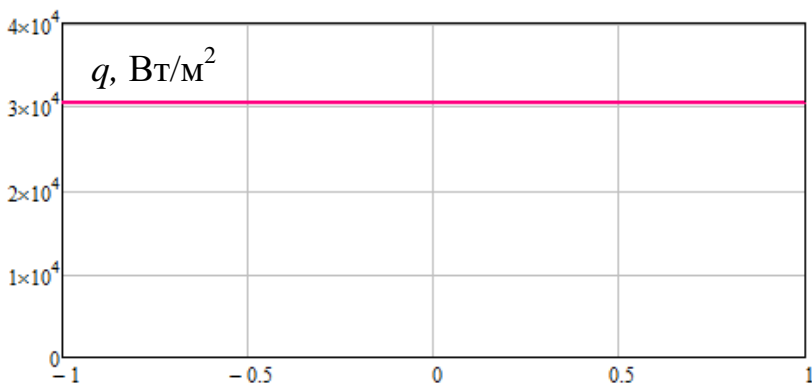


Рис. 10.8. Значення сумарного потоку ІЧ-опромінення

Аналітичний розв’язок було отримано для продукту півеліптичного перерізу з більшою піввіссю 50 мм, а меншою – 22.5 мм, що визначалося рекомендованим значенням завтовшки м’ясного напівфабрикату 20...25 мм. Тобто, співвідношення осей півеліпса приймача становить  $22.5 / 50 = 0.45$ .

Експериментальний розподіл густини опромінення за плаского розташування термопар має угнутий півеліптичний характер зі значенням у середині  $29.83 \text{ кВт/м}^2$ , а на краях  $49.75 \text{ кВт/м}^2$ . Таким чином, співвідношення осей півеліптичного розподілу густини опромінення становить  $(49.75 - 29.83) / 50 = 19.92 / 50 = 0.4$ . Беручи до уваги похибки виготовлення та монтажу відбивача, цей результат можна вважати прийнятним.

## 10.2. Моделювання кінетики температури м’ясних напівфабрикатів під час ІЧ-жаріння

Жарення м’ясних напівфабрикатів є складним теплообмінним процесом, який визначається різновидом способів підведення теплоти, нерівномірністю теплового потоку на поверхні продукту, особливостями внутрішнього переносу тепла. Існуючі дослідження пропонують різні моделі жарення, орієнтовані на інженерні розрахунки [17, 18, 19], але питання кінетики температури внутрішніх шарів м’ясних напівфа-

брикатів під час інфрачервоного жарення досліджено недостатньо, що ускладнює забезпечення енергетичної ефективності харчових виробництв.

Розглянемо головні припущення моделі. У випадку ІЧ-нагрівання електромагнітна енергія поглинається нескінченно малим поверхневим шаром продукту, що відповідає випадку теплообміну з заданим потоком теплоти (граничні умови II роду). Втрати теплоти з поверхні продукту спричинені конвективним теплообміном із довкіллям незмінної температури (граничні умови III роду) [20, 21].

Внаслідок взаємодії цих двох потоків та малої інертності ІЧ-нагрівання температура поверхні продукту зростає швидше, ніж внутрішніх шарів, які нагріваються лише завдяки теплопровідності.

Втрати маси продукту під час нагрівання будемо вважати малими порівняно з енергією, витраченою на нагрівання, та не будемо їх враховувати.

Підведення теплоти здійснюється з одного боку (верхня поверхня продукту), втратами теплоти з нижньої поверхні продукту нехтуємо.

Густину потоку ІЧ-опромінення на поверхні продукту вважаємо рівномірно розподіленою завдяки використанню відбивача [7, 8].

Запишемо рівняння теплового балансу для внутрішніх шарів продукту, які нагріваються завдяки теплопровідності, тому диференціальне рівняння теплового балансу ІЧ-нагрівання з урахуванням геометрії продукту має наступний вигляд:

$$c \rho V \frac{dT}{d\tau} = \frac{2 K_F \lambda}{R_x} S (T_S - T). \quad (10.4)$$

У рівнянні (10.4)  $c$  – питома теплоємність продукту,  $\rho$  – щільність продукту,  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності продукту,  $V$  – об’єм продукту,  $S$  – площа верхньої поверхні продукту,  $T_S$  – середня температура поверхні,  $T$  – середня температура внутрішніх шарів,  $\tau$  – час.

Коефіцієнт форми  $K_F$  враховує геометрію теплоприймача [22]:

$$K_F = 1 + \frac{R_x}{R_y} + \frac{R_x}{R_z}, \quad (10.5)$$

де  $R_x$  – половина товщини продукту,  $R_y$  и  $R_z$  – половина розміру продукту за двома іншими координатами ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  взаємно перпендикулярні).

Рівняння теплового балансу на поверхні продукту з урахуванням граничних умов, які враховують потік ІЧ-опромінення та конвективні втрати тепла, отримує наступний вигляд:

$$\frac{2 K_F \lambda}{R_x} S (T_S - T) = -\alpha S (T_S - T_A) + \eta P_E, \quad (10.6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $S$  – площа зовнішньої поверхні продукту,  $T_S$  – середня температура поверхні,  $T_A$  – температура повітря всередині апарату,  $\eta$  – коефіцієнт поглинання випроміненої потужності,  $P_E$  – потужність ІЧ-випромінювача.

З рівняння (10.6) знаходимо середню температуру поверхні продукту

$$T_S = \frac{T + \frac{\eta P_E R_x}{2 K_F S \lambda} + \text{Bi}_F T_A}{\text{Bi}_F + 1}. \quad (10.7)$$

Підставляємо вираз (10.7) у рівняння (10.4), отримуємо диференціальне рівняння кінетики температури

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{2 K_F \lambda}{c \rho R_V R_x} \frac{\text{Bi}_F}{\text{Bi}_F + 1} \left( \frac{\eta P_E}{\alpha S} + T_A - T \right), \quad (10.8)$$

де  $R_V$  – відношення об'єму продукту до площини його поверхні,  $\text{Bi}_F = \alpha R_x / (2 K_F \lambda)$  – модифіковане число Біо.

Розв'язок цього рівняння з початковою умовою  $T(0) = T_0$  має вигляд

$$T = \frac{\eta P_E}{\alpha S} + T_A - \left( T_0 - \frac{\eta P_E}{\alpha S} - T_A \right) \cdot \exp \left( - \frac{2 K_F \lambda}{c \rho R_x R_V} \frac{\text{Bi}_F}{\text{Bi}_F + 1} \tau \right) \quad (10.9)$$

Рівняння (10.9) описує кінетику середньої температури внутрішніх шарів продукту з плином часу.

Якщо задати середню потрібну температуру всередині продукту (температура готовності), то з рівняння (1.9) можна знайти потрібний час жарення



$$\tau_R = \frac{c \rho R_x R_V}{2 K_F \lambda} \cdot \left( \frac{Bi_F + 1}{Bi_F} \right) \cdot \ln \left( \frac{T_A - T_R + \frac{\eta P_E}{\alpha S}}{T_A - T_0 + \frac{\eta P_E}{\alpha S}} \right), \quad (10.10)$$

де  $\tau_R$  – час жарення,  $T_R$  – середня температура готовності внутрішніх шарів продукту.

Зауважимо, що в цій моделі ми вважаємо, що продукт не перегортається під час жарення, тобто теплообмін здійснюється з одного боку.

Використаємо апарат АРЖМ-0.07-1 [13, 14], де приймачем тепла є м'ясний напівфабрикат із нормальним перерізом у вигляді напівеліпсу (рис. 10.10). Половини осей напівеліпса  $a = 0.05$  м и  $b = 0.0225$  м. Довжина напівфабриката  $L_p = 0.2$  м.



Рис. 10.10 – М'ясний напівфабрикат

Довжина напівеліпсу  
 $L_h = \pi (a+b) / 2 = 3.14 (0.05+0.0225) / 2 = 0.114$  м. Площина напівеліпсу  
 $A = \pi a b / 2 = 3.14 \cdot 0.05 \cdot 0.0225 / 2 = 1.767 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>.

Площина верхньої поверхні напівфабрикату  
 $S = L_h L_p = 0.114 \cdot 0.2 = 0.023 \text{ м}^2$ . Об'єм напівфабрикату  
 $V = A L_p = 1.767 \cdot 10^{-3} \cdot 0.2 = 0.35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ .  
 Приймаємо  $R_x = b = 0.0225 \text{ м}$ ,  $R_y = a = 0.05 \text{ м}$ ,  
 $R_z = L_p / 2 = 0.2 / 2 = 0.1 \text{ м}$ . Коефіцієнт форми (1.5) отримує значення

$$K_F = 1 + \frac{0.0225}{0.05} + \frac{0.0225}{0.1} = 1.675. \quad (10.11)$$

У рівнянні (10.4) питома теплоємність яловичини  $c = 3.5 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$ , щільність яловичини  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт теплопровідності яловичини  $\lambda = 0.5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$  [23].

У рівнянні (1.6) коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha = 20 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ , температура повітря всередині апарату  $T_A = 20 \text{ °C}$ , коефіцієнт поглинання випроміненої потужності  $\eta = 0.2$ , потужність ПЧ-випромінювача  $P_E = 1000 \text{ Вт}$ .

У рівнянні (10.8)  $R_V = V / S = 0.35 \cdot 10^{-3} / 0.023 = 0.016 \text{ м}$ , модифіковане число Біо  $Bi_F = \alpha R_x / (2 K_F \lambda) = 20 \cdot 0.0225 / (2 \cdot 1.675 \cdot 0.5) = 0.269$ .

На рис. 1.11 наведено розраховану в програмному комплексі MathCAD кінетику середньої температури внутрішніх шарів продукту  $T$  та поверхні продукту  $T_S$  за заданої початкової температури внутрішніх шарів продукту  $T_0 = 5 \text{ °C}$  та температури готовності внутрішніх шарів продукту  $T_R = 75 \text{ °C}$ .

Час готовності продукту (10.10) становить  $\tau_R = 634.5 \text{ с}$ , тобто 10.6 хвилин. Під час жарення м'ясних напівфабрикатів у апараті АРЖМ-0.07-1 готовність продукту наставала через 8...10 хвилин після жарення з кожного боку [24]. Розбіжність результатів є наслідком теплових втрат з нижньої поверхні продукту та втрат маси під час реального жарення, що не враховувались в моделі. В той же час порівняння отриманих результатів моделі кінетики температури та реального жарення дозволяє зробити висновок про достатню для інженерних цілей адекватність створеної моделі.

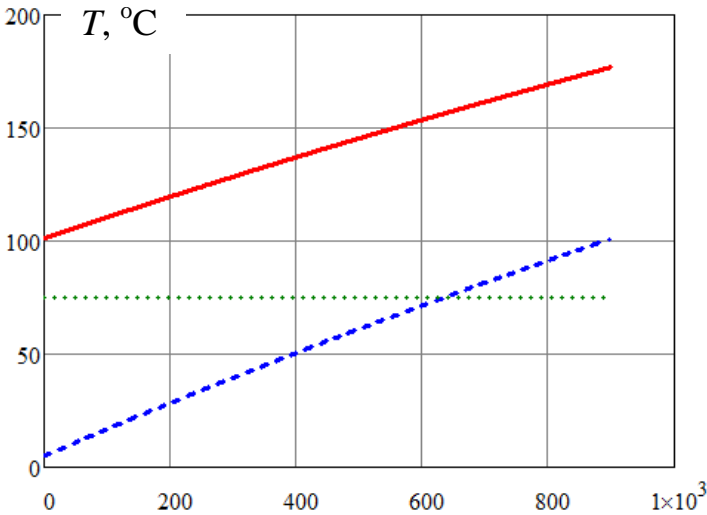


Рисунок 1.11 – Кінетика температури м'ясного напівфабрикату під час ІЧ-жарення:  
 —————  $T_S$ ; — — — — —  $T$ ; ······  $T_R$

### 10.3. Імітаційне моделювання комплексної оцінки апарата

Системний аналіз пов'язує та узагальнює всі засоби вдосконалення процесу виробництва харчової продукції, що дозволяє не тільки одержати кількісну оцінку, але й визначити шляхи оптимізації. Разом з розробкою прогресивних процесів виникає можливість створювати імітаційні моделі, необхідні для вирішення задач оптимізації [25, 26]. На відміну від звичайного моделювання, яке обмежується спостереженням та формальними статистичними зв'язками між елементами системи, імітаційне моделювання реалізує морфологію системи для точної та всебічної динаміки процесу функціонування. Імітаційне моделювання є адекватним інструментом аналізу складних систем зі слабо формалізованими елементами, до яких можна віднести системи харчових виробництв [27, 28].

Імітаційне дослідження дозволяє поєднувати особливості експериментального підходу і специфіку засобів комп'ютерної підтримки. Програмний комплекс Vensim має підґрунтям потокову концепцію

системної динаміки, за якої об'єкт – це динамічна система, що складається з накопичувачів, пов'язаних між собою керованими потоками. Кількісно кожний накопичувач описується рівнем його змісту, а кожний потік – темпом переміщення на основі інформації про вміст резервуарів [29, 30].

Таким чином, використання імітаційних системно-динамічних моделей дозволяє оптимізувати процес виробництва харчової продукції за обраними реакціями шляхом комп'ютерного експерименту зі зміною та комбінуванням значень критеріїв, забезпечуючи якісний продукт.

Шляхом системно-динамічного моделювання розглянемо комплексну оцінку апарата АРЖМ-0.07-1 та порівняємо його з пристроєм без рефлектора. Інструментальною базою моделювання обрано системно-динамічну технологію потокового типу (програмний комплекс Vensim).

Одиницею виміру часу в моделі є хвилина, що відповідає терміну найменшої затримки. Термін моделювання складає 20 хвилин. Загальний вигляд моделі наведено на рис. 10.12.

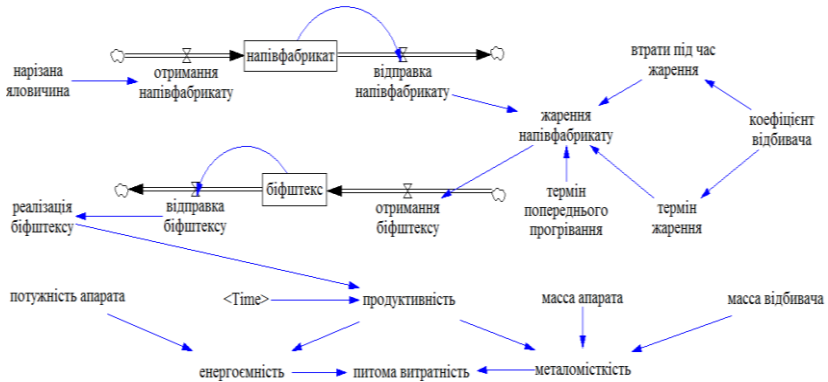


Рис. 10.12 – Імітаційна модель складена у програмному комплексі Vensim

Припущення [31, 32]:

- поставка яловичини є разовою пульсуючою;
- затримки на операціях відповідають рекомендаціям з експлуатації;
- терміни теплової обробки відповідають типовому обладнанню;

- втрати на операціях відповідають експериментальним дослідженням;

- залишок продукту відсутній.

- якість продукту незмінна.

Екзогенні керовані змінні [11, 24]:

- масові компоненти (нарізана яловичина, маса апарата, маса відбивача);

- енергетичні компоненти (коефіцієнт відбивача, потужність апарата, термін попереднього прогрівання).

Ендогенні керовані змінні [11, 24]:

- втрати під час жарення становлять 33 %, помножені на коефіцієнт відбивача;

- термін жарення становить 15 хв, помножені на коефіцієнт відбивача;

- жарення напівфабрикату визначається фіксованою затримкою відправки напівфабрикату на суму термінів попереднього прогрівання та жарення з урахуванням втрат під час жарення;

- продуктивність визначається об'ємом реалізації біфштексу за годину;

- енергоємність визначається відношенням потужності апарата до продуктивності;

- металомісткість визначається відношенням суми мас апарата та відбивача до продуктивності;

- питома витратність визначається множенням енергоємності та металомісткості.

Модельним відгуком, або реакцією моделі була питома витратність. Всі фактори мають ефект взаємодії, тобто комбінованого впливу на реакцію моделі. Було використано наступні рівні факторів:

- нарізана яловичина складалася з двох шматків по 200 г кожний;

- маса апарата складала 3.5 кг;

- маса відбивача складала 0.5 кг;

- коефіцієнт відбивача становить 0.6, тобто відношення терміну жарення м'ясного напівфабрикату в апараті з відбивачем (9 хв) до терміну жарення у апараті без відбивача (15 хв);

- термін попереднього прогрівання апарату становить 2 хв;

- потужність обладнання становить 1 кВт.

Експеримент проводився для апарата без відбивача (коефіцієнт відбивача 1, маса відбивача 0 кг, Current 1) та апарата з відбивачем (коефіцієнт відбивача 0.6, маса відбивача 0.5 кг, Current 06).

Використання відбивача променевого потоку призводить до наступних переваг:

збільшення реалізації біфштексу (рис. 1.13) на  $0.32 / 0.27 - 1 = 1.2 - 1 = 0.2$ , тобто 20%;

збільшення продуктивності (рис. 1.14) на  $1.28 / 0.8 - 1 = 1.6 - 1 = 0.6$ , тобто 60%;

зменшення енергоємності (рис. 1.15) на  $1.25 / 0.78 - 1 = 1.6 - 1 = 0.6$ , тобто 60%;

зменшення металомісткості (рис. 1.16) на  $4.38 / 3.13 - 1 = 1.4 - 1 = 0.4$ , тобто 40%;

зменшення питомої витратності (рис. 1.17) на  $5.47 / 2.44 - 1 = 2.24 - 1 = 1.24$ , тобто 124%.

Значення реалізації біфштексу, продуктивності, енергоємності, металомісткості та питомої витратності наведені на рис. 10.13-10.17, відповідно.

Таким чином, використання системно-динамічного моделювання для порівняння комплексних якісних характеристик апарата з відбивачем АРЖМ-0.07-1 і апарата без відбивача доводить [33], що наявність відбивача призводить до збільшення продуктивності, а також зменшення енергоємності та металомісткості. Це істотно знижує питомі витрати з поліпшенням якості харчових продуктів.

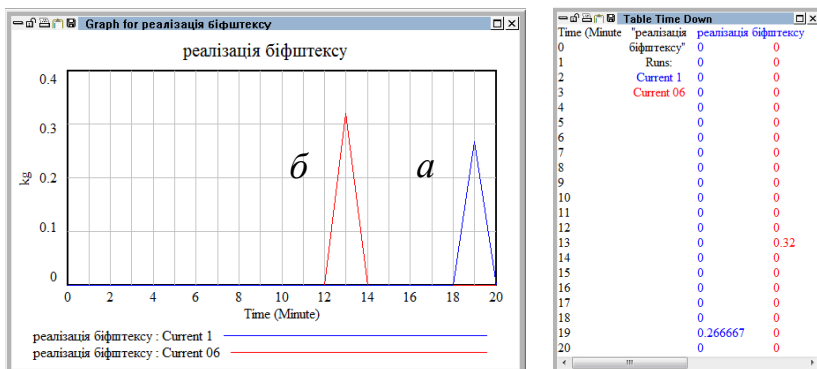
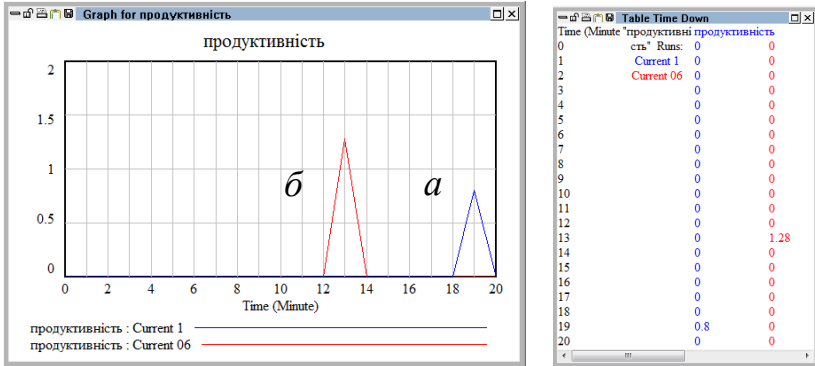
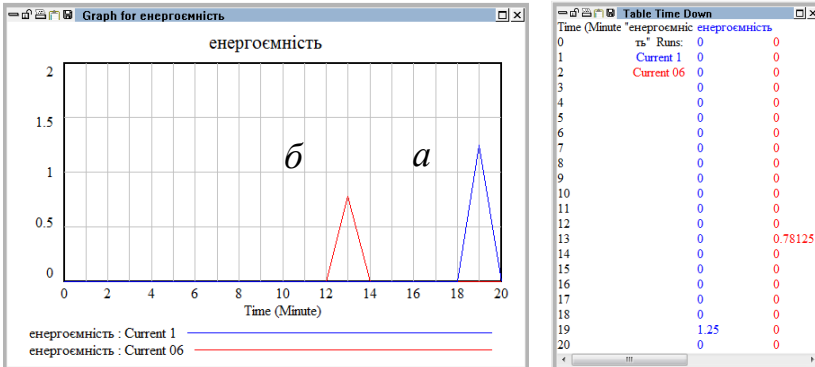


Рис. 1.13 – Моделювання реалізації біфштексу (кг):  
**а** – апарат без відбивача (Current 1),  
**б** – апарат з відбивачем (Current 06)

## ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ



**Рис. 10.14 – Моделювання продуктивності (кг / год):**  
***a*** – апарат без відбивача (Current 1),  
***б*** – апарат з відбивачем (Current 06)



**Рис. 10.15 – Моделювання енергоємності (кВт год / кг):**  
***a*** – апарат без відбивача (Current 1),  
***б*** – апарат з відбивачем (Current 06)

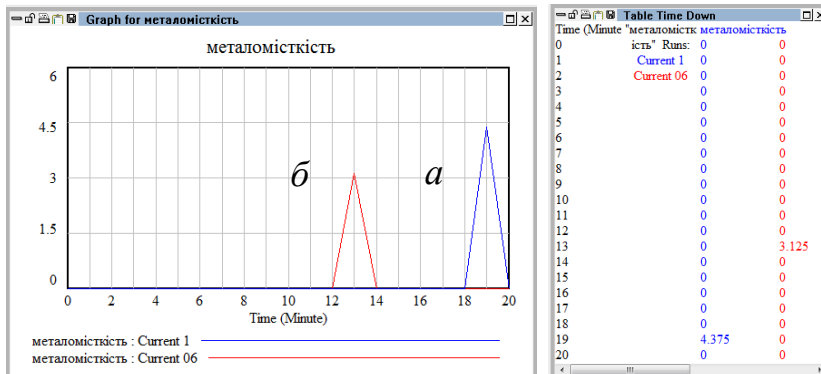


Рис. 10.16 – Моделювання металомісткості (кг год / кг):  
***a*** – апарат без відбивача (Current 1),  
***б*** – апарат з відбивачем (Current 06)

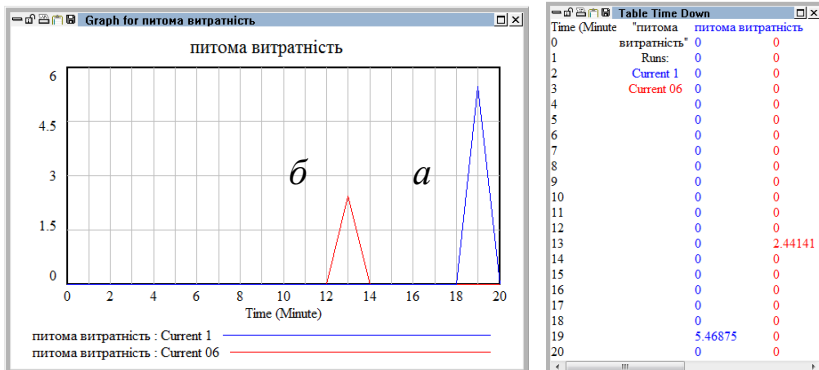


Рис. 10.17 – Моделювання питомої витратності (кВт кг год / кг):  
***a*** – апарат без відбивача (Current 1),  
***б*** – апарат з відбивачем (Current 06)



### Висновки

Аналітичне, фізичне та системно-динамічне моделювання процесу інфрачервоного жарення м'ясних напівфабрикатів у апараті з рефлектором АРЖМ-0.07-1 уможливило наступні висновки:

Конструкція апарата АРЖМ-0.07-1 забезпечує рівномірну густину променевого потоку значенням  $30 \pm 0.343$  кВт/м<sup>2</sup> на поверхні м'ясного напівфабриката під час інфрачервоного жарення.

Інфрачервоне жарення м'ясних напівфабрикатів за використання апарата АРЖМ-0.07-1 забезпечує температуру готовності внутрішніх шарів продукту 75 °С за 10 хвилин.

Використання в апараті АРЖМ-0.07-1 відбивача променевого потоку призводить до збільшення продуктивності на 60 %, скорочення енергоємності на 60 %, металомісткості на 40 %, питомої витратності на 124 %.

Комплексна оцінка та оптимізація інфрачервоного обладнання харчових виробництв є неможливими без системно-динамічного моделювання, яке ґрунтується на аналітичних зв'язках системи та фізичному експерименті. Надалі для більш повної оцінки необхідно розширити кількість факторів, що впливають на реакцію моделі.

### Список використаних джерел

1. Пат. 4317441 США, МКИ А 47 J 37/00. *Broiler apparatus. Устройство для жарения мяса [Текст] / Roger M. Berg (США). – № 67368; заявл. 17.08.79; опубл. 02.03.82, НКИ 126/41. – 12 с.*
2. Пат. 4664923 США, МКИ А 23 L 1/01. *Method of infrared tunnel oven cooking of food products. ИК-аппарат для приготовления пицци [Текст] / Wagner Dennis, Wells Harold D. (США). – № 778350; заявл. 24.10.85; опубл. 12.05.87, НКИ 426/233. – 14 с.*
3. Lawson, D. A. *An accurate program for radiation modelling in the design of high-temperature furnaces [Text] / D. A. Lawson, C. D. Ziesler // IMA J Management Math. – 1996. – № 7(2). – С. 109–116.*
4. Sheridan, P. *Application of far infra-red radiation to cooking of meat products [Text] / P. Sheridan, N. Shilton // Journal of Food Engineering. – 1999. – Vol. 41(3). – С. 203–208.*
5. Тормосов Ю. М. *Дослідження диференціального рівняння для опису форми профілю рефлектора, що забезпечує заданий закон розподілу відбитих променів / Ю. М. Тормосов // Прикладна геометрія та інженерна графіка : міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2003. – №73. – С. 110–115.*
6. Плевако В. П. *Визначення форм рефлекторів теплотехнічних установок, які забезпечують заданий розподіл тепла на приймачах довільних пере-*

різів / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків : ХДУХТ, 2007. – Вип. 17. – С. 75–90.

7. Плевако, В. П. Фрагментований рефлектор для рівномірного опромінювання приймача з напівеліптичною формою перерізу [Текст] / В. П. Плевако, С. М. Костенко, І. П. Педорич // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування і торгівлі. – Харків : ХДУХТ, 2008. – Вип. 2(8). – С. 266–275.

8. Плевако В. П. Рефлектор для рівномірного опромінювання приймача з урахуванням втрат теплоти / В. П. Плевако, С. М. Костенко, І. П. Педорич // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Голов. ред. О. О. Шубін ; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2010. – Вип. 24. – С. 137–146.

9. Плевако, В. П. Комп'ютерне моделювання процесу опромінювання приймача напівеліптичного перерізу [Текст] / В. П. Плевако, С. М. Костенко; голов. ред. О. О. Шубін; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. – 2009. – Вип. 22. – С. 269–273.

10. Плевако В. П. Верифікація методики профілювання відбивача / В. П. Плевако, С. М. Костенко, С. Ю. Саєнко // Наукові праці ОНАХТ. Серія Технічні науки / Голов. ред. Б. В. Єгоров ; Одеський національний університет харчових технологій. – 2012. – С. 157–159.

11. Плевако В. П. Експериментальне доведення методики визначення профілю відбивача / В. П. Плевако, С. М. Костенко, С. О. Лобов // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Голов. ред. О. О. Шубін ; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – Вип. 29. – С. 48–52.

12. Плевако В. П. Перевірка методики для визначення профілю відбивача променевого потоку / В. П. Плевако, С. М. Костенко, І. П. Педорич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2013. – Том 6, № 5 (66) – С. 42–45.

13. Костенко С. М. Комплексна оцінка якості апарата АРЖМ-0.07-1 [Текст] / С. М. Костенко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / [редкол. : О. І. Черевко (відпов. ред.) та ін.]. Харків : ХДУХТ, 2014. – Вип. 2 (20). – С. 168–173.

14. Potarov, V., Plevako, V., Kostenko, S., Pedorich, I., Arkhipova, V. (2016), "Physical and Analytical Modeling of Infrared Frying in ARJM-0.07-1 Apparatus", *Industrial Technology and Engineering*, Vol. 3 (20), pp. 54-61.

15. Костенко С. М. Експериментальний стенд для визначення променевого потоку / С. М. Костенко // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: зб. наук. праць: у 2-х ч. / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2004. – Ч. 1. – С. 212–219.

16. Dowdy, S. M. Statistics for research [Text] / S. M. Dowdy, Stanley Wearden. – New York : Wiley, 1991. – 629 с.

17. Потапов В.О., Сомов О.С. Наближена модель динаміки теплообмінних процесів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв

ресторанного господарства та торгівлі : Зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2008. – Випуск 1 (7) – С.380–388.

18. Потапов В.О., Петренко О.В. Моделювання процесу жарення кулінарних виробів основним способом // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі : Зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2008. – Вип. 2 (8). – С. 248–252.

19. Рамазанов С. К. Моделювання динаміки теплопровідності в процесі двостороннього жарення м'яса на основі нелінійної оптимізації / С. К. Рамазанов, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 3(3). – С. 41–47.

20. Лыков А. В. Теплообмен : справочник / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1978. – 480 с.

21. Ильясов С. Г. Физические основы ИК-облучения пищевых продуктов / С. Г. Ильясов, В. В. Красников. – М. : Пищевая пром-сть, 1978. – 359 с.

22. Потапов В.А. Кинетика явлений переноса в процессе сушки : монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, Deutschland / Германия. 2013, – 319 с.

23. Теплофизические характеристики пищевых продуктов : Справочник / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – 3-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1990. – 287 с. : ил.

24. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини: монографія в 3 ч. Ч. 3. Підвищення ефективності теплового обладнання з інфрачервоним нагріванням / В.П. Плевако, С.М. Костенко, І.П. Педорич ; за заг. ред. О. І. Черевка, В. М. Михайлова. –Х. : ХДУХТ, 2012. – 130 с.

25. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / О.Н. Сафонова, Ф.В. Перцевой, О.А. Гринченко, А.Л. Фоцан, П.П. Пивоваров, А.В. Богомоллов, Л.Н. Тищенко, Б.Ч. Гарнцарек. – Харьков: 2000. – 200 с.

26. Антонов А.В. Системный анализ: Учебник для вузов. – 2-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2006. – 452 с.

27. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. 3-е изд. – СПб.: ПИТЕР; Киев: Изд. группа ВНУ, 2004. – 847 с.

28. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005 – 349 с.

29. Биткова Т.В. Построение системно-динамических моделей в среде Vensim. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Имитационное моделирование» для студентов специальностей «Экономическая кибернетика» и «Прикладная экономика». – Х.: ХНУ, 2004 – 52 с.

30. Меркулова Т. В. Экономико-математическое моделирование: учебное пособие / Т. В. Меркулова, Т. В. Биткова, Е. Ю. Кононова. – [2-е изд., до-раб.] – Х.: Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2011. – 276 с.

31. Черевко О.І., Михайлов В.М., Бабкіна І.В. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів: Навч. посібник, Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. – Харків, 2000. – 332 с.: іл.; табл.

32. Перцевий Ф.В. та ін. *Технологія продукції харчових виробництв: Навч. посібник / Ф.В. Перцевий, Н.В. Камсуліна, М.Б. Колеснікова, М.О. Янчева, П.В. Гурський, Л.М. Тищенко / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2006. – 318 с.: табл.*

33. Потапов В.О., Костенко С.М. *Системно-динамічне моделювання комплексної оцінки апарата АРЖМ-0.07-1 (англ. мовою). Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / [редкол. : О.І. Черевко (відпов. ред.) та ін.]. – Харків : ХДУХТ, 2016. – Вип. 2(24). – С. 218–225.*

## Розділ 11/Chapter 11

# Зниження енерговитрат переробних підприємств шляхом використання вторинних та поновлюємих джерел енергії

О.В. Радчук, Л.Г. Рожкова, М.Ю. Савченко-Перерва

## Reducing energy processing plants using renewable and secondary energy sources

Oleg Radchuk\*, Lyudmila Rozhkova,  
Marina Savchenko-Pererva

*Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine*

---

**Abstract:** The present state of combined cooling, heating and power technologies is analyzed. In-cycle trigeneration with cyclic engine air cooling as a dominant concept of combined cooling, heating and power production providing enhancement of electricity and fuel saving has been proved. Innovation technologies with combined two-stage waste heat recovery chillers as the most efficient ones for moderate climate conditions are proposed.

**Keywords:** *power, heat, cooling, in-cycle trigeneration, engine intake air cooling, waste heat recovery chiller*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [htech@sau.sumy.ua](mailto:htech@sau.sumy.ua)

**Зміст**

**Вступ**

- 11.1. Використання в переробній промисловості низько-температурної теплової енергії**
- 11.2. Використання енергії вітрових потоків. Сучасний стан та перспективи розвитку світової вітроенергетики**
- 11.3. Сучасний стан та перспективи розвитку вітроенергетики в Україні**
- 11.4. Питання міцності та надійності вітроустановок**
- 11.5. Конструкції опори вітроустановок**
- 11.6. Застосування вітроустановок в системах опалення та гарячого водопостачання**

**Висновки**

**Список використаних джерел**

**Вступ**

Можна без перебільшення сказати, що історія людства - це історія енергетики. Без розвитку енергетики було б неможливе становлення цивілізації, і людство залишилося б у первісному стані, використовуючи тільки власну мускульну силу і домашніх тварин. Однак людська думка вміла знаходити все нові джерела енергії, енергоозброєність постійно росла.

В даний час енергоспоживання зростає дуже швидко. Наприклад, за даними [1] споживання енергії в 1975 році на одну людину зросло в чотири рази порівняно з початком двадцятого століття. При цьому сумарне енергоспоживання подвоювалося кожні 20 років. Цей факт пояснюється різким зростанням населення Землі за вказаний часовий відрізок – майже на 75%. До 70-х років двадцятого століття понад 90% спожитих енергоресурсів склали невідновлювані джерела енергії (нафта, газ, вугілля і т.д.) і лише 10% – відновлювальні (в основному, гідроенергія). При збереженні темпів зростання енергоспоживання до ХХІІ століття можливе повне витрачання запасів органічного палива і не тільки вже існуючих, але і прогнозованих. Проте, дешевизна і порівняно нескладна техніка видобутку викопного палива (особливо в районі Перської затоки) зумовила ситуацію, коли використання поновлюваних джерел енергії (сонце, вітер, тощо) було не вигідним в економічному відношенні [1]. Однак, на думку багатьох експертів, виробництво енергії на базі невідновлюваних джерел веде до забруд-

нення навколишнього середовища твердими частинками, перегріву поверхні Землі, утворення великої кількості вуглекислого газу, що загрожує глобальними порушеннями природної теплової рівноваги з усіма наслідками, що звідси витікають. Крім того, як уже зазначалося вище, запаси викопного палива кінцеві. До того ж людством використовується на прямі потреби 2% видобутих ресурсів, інші 98% йдуть на засоби виробництва і на відходи. Це досить гнітюча обставина. Що ж до атомної енергетики, то її переваги взаємозв'язані з необхідністю переробки і захоронення відпрацьованого палива, а також з небезпечною аварій, які можуть призводити не тільки до одномоментних руйнувань станцій і загибелі людей, а й до тривалого (протягом десятків років) впливу радіації на прилеглої до станції території. Так, у разі Чорнобильської АЕС, ця зона умовно обмежена радіусом тридцять кілометрів.

Названі фактори стимулювали в 70-х роках двадцятого століття в економічно розвинених країнах (Данія, Голландія, США, Франція) широкомасштабні розробки способів отримання енергії від поновлюваних джерел, таких як сонце, вітер, біомаса, геотермальні води та т.і.

Більш того, незалежно від ставлення іншими країнами до атомної енергетики із вищеназаних енергетичних програм було зазначено два основних пункти, спрямованих на поліпшення забезпечення енергією [2]:

- розвиток енергетики на альтернативних (у тому числі і поновлюваних) джерелах енергії;
- підвищення ефективності використання енергії.

Одним з напрямів зберігання традиційних паливно-енергетичних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки є використання альтернативних (у тому числі поновлюваних) джерел енергії. До таких джерел безпосередньо відносяться сонячна енергія, енергія вітрових потоків, низькотемпературна тепла енергія різноманітних середовищ, як природних (земля, повітря, водоймища та ін.), так і штучних, тобто вторинних ресурсів (відпрацьована гаряча вода, каналізаційні стоки та ін.)

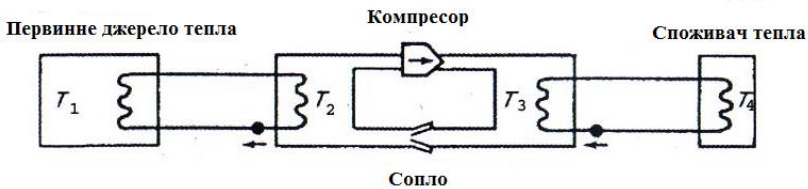
Необхідність енергозбереження в теперішній час актуальна для усіх галузей промисловості. Безумовно, це актуально і для переробних підприємств, тому що для переробки і зберігання сировини і готової продукції потрібно багато енергетичних ресурсів, особливо у вигляді теплової енергії. Таким чином, впровадження енергетичних установок, що використовують вище названі джерела енергії на підприємствах аграрної та харчової галузей може бути обґрунтовані як економічно, так і з точки зору екології. Щодо специфіки харчової промисловості

найбільш перспективними для використання на галузевих підприємствах можуть бути низькотемпературні теплові джерела, енергія вітру та біомаси.

Ми зупинимося на можливостях використання в харчовій галузі низькотемпературної теплової енергії та енергії вітру.

### **11.1. Використання в переробній промисловості низькотемпературної теплової енергії**

Для використання низькотемпературної теплової енергії можуть бути застосовані так звані теплові помпи (далі ТП), тобто установки, що за допомогою механічної або електричної енергії перетворюють низькотемпературну теплову енергію в теплову енергію, яка має більш високу температуру. Принципова схема конструкцій ТП приведена на рис.11.1.



**Рис. 11.1. Принципова схема конструкцій ТП**

У загальному випадку кількість теплоти, що одержує споживач від ТП, визначається за формулою:

$$Q_{\text{спож.}} = Q_{\text{утил.}} \cdot \psi, \quad (11.1)$$

де  $Q_{\text{утил.}}$  – кількість теплоти, що утилізується, кВт;  $\psi$  – коефіцієнт перетворення теплоти.

У світі за останній час суттєво збільшився обсяг виробництва, а також ринок ТП. Це викликано наступними причинами [3]:

- Підвищення вимог до опалювального обладнання, з точки зору енергозбереження та екологічної безпеки;
- Стрибками цін на нафту і перебоями постачання природного газу;



- У ряді країн введено пільгові законодавчі акти, що підтримують впровадження енергозберігаючого екологічно безпечного обладнання і використання альтернативних джерел енергії.

Слід відмітити, що європейський союз в 2008 році включив теплові помпи в перелік систем, які використовують поновлювані джерела енергії. Завдяки цьому, вже у 2008 було продано близько 1 млн. шт. теплових pomp ATW. Першими виробниками даних ТП були фірми Японії (з 2001 р.), тому що мали велику підтримку уряду. В наш час теплові помпи ATW широко використовуються в країнах Європи, але європейські виробники розробили і власні ТП і мають свою частку світового ринку теплових pomp. В основному ТП використовують для опалення та одержання гарячої води. Наприклад, у Швеції на 2007 рік працювало 250 тисяч теплових pomp, що забезпечило 20% потреб теплової енергії і зменшило споживання нафтопродуктів на 1.2 млн. тон на рік [4].

В Україні задіяна незначна кількість теплових pomp, хоча по даним [4] ресурси низькотемпературної теплової енергії прогнозовані на рівні 23000МВт. Як позитивний приклад можна навести впровадження теплових pomp в Україні в Автономній Республіці Крим в готелі «Ялта» потужністю 1440кВт та пансіонаті «Дружба» потужністю 527кВт (м. Ялта) [5].

Джерела низькотемпературної теплоти у даному випадку наступні:

- Теплова енергія морської води від відповідного водопостачання;
- Теплова енергія від протоку морської води басейнів;
- Теплова енергія від кондиціонування приміщень;
- Теплова енергія від холодильних установок.

Згідно з [5] економія палива за рахунок впровадження ТП у готелі «Ялта» і пансіонаті «Дружба» у сумі дорівнює 4200 т. у. п. на рік.

Зараз одним із відомих виробників ТП в Україні є завод холодильного машинобудування «Рефма», м. Мелітополь. Він виготовляє ТП потужністю до 100 кВт для побутових потреб.

Як вже було вище зазначено, підприємства харчової промисловості споживають значну кількість паливно-енергетичних ресурсів: теплоти, електричної енергії, холоду т.і. При цьому теплові процеси супроводжуються відходами енергії у вигляді теплоти, що називаються вторинними тепловими ресурсами.

До них відносяться:

- Вторинна пароконденсатна суміш гріючої водяної пари, яка була вже використана у теплообмінних апаратах.

- Відпрацьована пароповітряна суміш із термічних камер теплової обробки продукції.
- Відпрацьоване повітря із сушильних установок.
- Димові гази, що виходять з котельних установок та технологічних печей.
- Відхідна гаряча вода.
- Фізична теплота продукції.
- Теплота конденсації холодного агенту у холодильних машинах.

Якщо вторинні теплові ресурси мають доволі високу температуру ( $>50^{\circ}\text{C}$ ), то їх безпосередньо використовують, наприклад, для побутових потреб. Але низькотемпературні теплові джерела доцільно перетворювати з метою одержання більш високих температур. Кількість теплової енергії залежить від кількості і параметрів теплоносія. Прикладом такого джерела є теплота холодильного агенту в холодильній машині. Температура у даному випадку для умов України (клімат і опалення) не перевищує  $40^{\circ}\text{C}$ . Будь-яке підприємство галузі обов'язково має холодильну установку, тому практично на всіх можливо і доцільно впроваджувати теплові помпи. Найбільш у даному випадку доцільна категорія теплових pomp «повітря-повітря» і «повітря-вода». Схема холодильної машини і теплової помпи наведена на рис.11.2, при цьому  $Q_1$  – теплота, що утилізується ТП, кВт;  $Q_2$  – теплота, що передається споживачу, кВт.

Відомо, що теплота конденсації холодильного агенту в загальному випадку дорівнює сумі теплоти, що відібрана в холодильній камері та енергії, яку споживає компресор:

$$Q_{\text{конд.}} = Q_0 + L_{\text{к.х.м.}}, \quad (11.2)$$

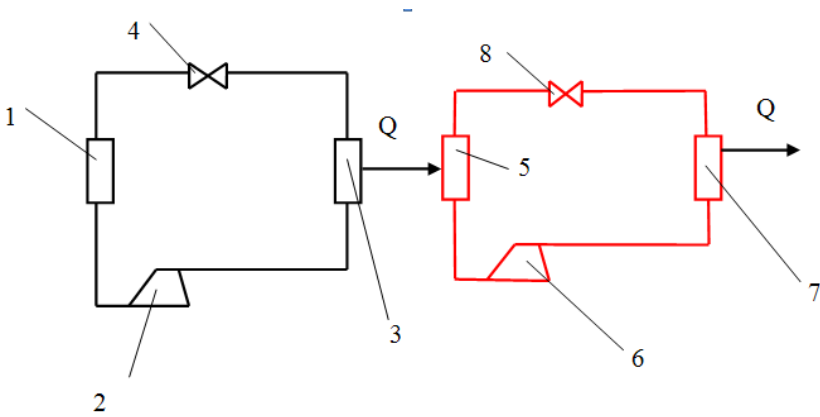
де  $Q_0$  – кількість теплоти, що відібрана у холодильній камері, кВт;  $L_{\text{к.х.м.}}$  – робота компресора, яка еквівалентна спожитій електричній енергії холодильної машини, Дж.

Якщо врахувати втрати теплової енергії, то теплота, одержана від теплової помпи, дорівнює:

$$Q_{\text{т.п.}} = \varphi Q_{\text{конд.}} \psi; \quad (11.3)$$

$$\psi = Q_{\text{т.п.}} / L_{\text{к.т.п.}}, \quad (11.4)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт втрат теплоти;  $\psi$  – коефіцієнт перетворення теплоти ТП;  $L_{\text{к.т.п.}}$  – тепловий еквівалент роботи компресора теплової помпи.



**Рис. 11.2.** Принципова схема установки «Холодильна машина – теплава помпа»: 1, 2, 3, 4 – випарник, компресор, конденсатор, дросельний вентиль холодительної машини відповідно; 5, 6, 7, 8 – випарник, компресор, конденсатор, дросельний вентиль теплової помпи відповідно.

Коефіцієнт перетворення теплоти  $\psi$  (або COP у міжнародному понятті) визначає ефективність роботи теплової помпи. В залежності від умов роботи він може бути досить високим, наприклад, досягати 5. Зокрема, ефективність роботи теплової помпи залежить від двох температур: по-перше, від температури джерела теплової енергії – чим вище температура, тим більш сприятливі умови роботи; по-друге, від температури, необхідної споживачу – чим нижче потрібна температура, тим вище буде ефективність ТП.

Другим напрямом на переробних підприємствах є використання теплоти відпрацьованої води, повітря, димових газів, тощо (тобто вторинних теплових ресурсів). Теплота вторинних теплових ресурсів у загальному випадку дорівнює:

$$Q_{в.р.} = M_{сн} \cdot \Delta h^{\tau}, \quad (11.5)$$

де  $M_{сн}$  – кількість джерела теплоти, кг/год або  $m^3$ /год;  $\Delta h$  – перепад ентальпії, кДж/год;  $\tau$  – час роботи, год.

Порядок розрахунку теплоти, що перетворюють ТП при використанні вторинних теплових ресурсів, аналогічний наведеному вище.

Слід відмітити, що для ефективної роботи ТП велике значення мають холодоагенти, тому що температури їх випаровування і конденсації

сації обумовлюють тиск, який повинен бути у випарнику та конденсаторі, і тому задають параметри роботи компресору. До теперішнього часу переважно використовувались холодоагенти R-12 і R-22. Але в зв'язку з тим, що вони можуть стати дефіцитними і, крім того, цей клас холодоагентів є озоноруйнуючим, у країнах Європи прийнято рішення переходу на альтернативні озонобезпечні холодоагенти [6,7,8]. Таким вимогам відповідають, наприклад, аміак, двоокис вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), бутан, пропілен-гліколь та деякі інші речовини [7,8]. Досвід показав, що аміак є неперевершеним з точки зору енергетичної ефективності в промислових системах холодильних машин та теплових pomp потужністю вище 500кВт. Також показали ТП досить високу енергоефективність на двоокису вуглецю, на суміші аміаку і диметилового спирту.

Узгодження потужності ТП зі споживачем полягає у тепловому розрахунку споживаючого обладнання, тобто кількості теплоти при потрібних параметрах теплового режиму, що і визначить необхідні характеристики теплових pomp.

### 11.2. Використання енергії вітрових потоків. Сучасний стан та перспективи розвитку світової вітроенергетики

В ряді розвинутих країн світу спостерігається бум у спорудженні вітроелектростанцій. Згідно з [9] загальна потужність вітроелектростанцій (далі ВЕС) у 2006 дорівнювала 74221 МВт, а в 2009 – вже 159213 МВт [9], товарообіг світового ринку вітроенергетики в 2009 році склав 50 млрд. євро, кількість робочих місць дорівнювала 550 тисяч, а в 2012 році – 1млн. робочих місць. На рис. 11.3 показана прогнозуема динаміка розвитку вітроенергетики до 2020 року [10] :

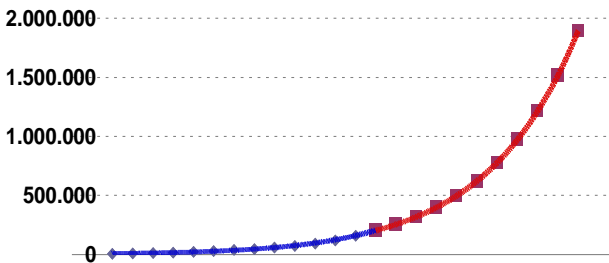


Рис. 11.3. Прогноз розвитку світової вітроенергетики до 2020 року в МВт (дані наведено з 1997 року)

За даними Всесвітньої енергетичної асоціації (Звіт WWEA від 16 травня 2013 року, Бонн) в країнах світу виробляють електроенергію з енергії вітру. В основному, створюються великі вітроенергопарки з вітрогенеруючими установками (ВУ) великої потужності, що мають швидкохідні вітроколеса з горизонтальним розташуванням осі обертання. Безумовно, отримання електроенергії у вітроенергопарках може бути економічно виправданим у певних вітрових умовах.

На теперішній час (2016 рік) загальний обсяг вітрової енергетики в країнах ЄС дорівнює 142 ГВт, що складає 11,4% від усіх потреб в енергії. Більшість нових вітрових установок з'явилося у Німеччині та Польщі, причому перша лідирує у ЄС по величині загальної встановленої потужності – 45 ГВт.

Таким чином, перспективність енергетики на поновлюваних джерелах не викликає сумнівів, в тому числі, і в Україні.

### 11.3. Сучасний стан та перспективи розвитку вітроенергетики в Україні

Необхідність розвитку вітроенергетики в Україні обумовлена наступними причинами: дефіцит викопного палива, зростаюча вартість енергоносіїв, триваюче погіршення екологічної обстановки [11]. Крім того, можливість використання ВУ у якості автономних для споживачів, віддалених від ТЕС, і, як результат, корисний соціальний та економічний ефект від енергозабезпечення невеликих переробних підприємств, фермерських та інших сільських господарств, а також котеджів – важлива на даний час економічна ситуація в Україні.

За даними [12] потенціал вітрової енергії в Україні цілком дозволяє визначити її використання досить перспективним. Сприятливі для вітроенергетики площі Азовського моря, Дніпро-Бузького та Дніпровського лиманів, солоних озер в Одеській і Запорізькій областях. На суші найбільш сприятливі східні райони Сумської та Полтавської областей, Одеська, Миколаївська, Херсонська, Донецька, Луганська області, а також Карпати. Загальні ресурси енергії вітру, що доступні до освоєння в Україні, досягають 1500 ГВт. Орієнтовно максимальна сумарна встановлена потужність ВУ в Україні, планована для досягнення – 16000 МВт: 7500 МВт для ВУ у складі електроенергетичної системи та 8500 МВт для автономних ВУ [13].

За допомогою вітроустановок можна отримувати не тільки електричну, а й теплову і механічну види енергії. Таким чином, у тваринництві може подаватися вода, проводитися підігрів кормів тощо.

В Україні потужність ВЕС в 2009 році дорівнювала 90 МВт [9]. Слід відмітити, що ВЕС, які споруджені в Україні, в основному мають велику потужність і не завжди рентабельні, тому що деякі з них були запроєктовані в США у 70-х роках минулого століття для середньої швидкості вітру 10-14 м/с, а в Україні середня швидкість вітрових потоків не перевищує 6,2 м/с. Але за останні роки в Україні розробляються вітроустановки малої потужності (до 20 кВт або можливо до 50 кВт). Як показав досвід, набутий при впровадженні вітроустановок (далі ВУ) малої потужності, що вони в Україні можуть бути найбільш перспективними. Мала вітроенергетика залежно від потужності може мати наступних споживачів [9]:

1. 0,020-0,024кВт – локальне резервне освітлення;
2. 0,060-0,075кВт – яхти;
3. 0,20-0,24кВт – приміські дачники;
4. 0,60 - 0,75кВт – середньостатистична українська сім'я;
5. 2,0-2,4кВт – малосімейні сільськогосподарські приватні підприємства;
6. 6,0-7,5кВт – невеликі фермерські господарства;
7. 20кВт – малі села, хутори, середні та великі фермерські господарства;
8. 50 кВт – сільськогосподарські та харчові приватні міні-підприємства.

Таким чином, мала вітроенергетика може бути доволі корисною в напрямку децентралізації і можливості енергопостачання споживача, як фізичної особи, так і юридичної, тобто підприємства. В наш час в Україні є ряд виробників малих вітроустановок, зокрема, відомі такі фірми як НВФ «Енергодар», ПП «Світ вітру» (м. Харків); НТЦ «Альтекс» (м Київ), «ЕКО», ДКБ «Південне» (м. Дніпропетровськ). Дані підприємства виробляють ВУ переважно з горизонтально-осьовим робочим колесом. На теперішній час застосовуються ВУ малої потужності як з горизонтальною, так і з вертикальною віссю обертання. Схеми найбільш вживаних, за даними [2], ВУ наведено на рис. 11.4 (а,б), а характеристики потужності – на рис.11.5.

Ми вважаємо, що в якості автономних вітроустановок доцільне застосовувати ВУ з вертикальною віссю обертання (вертикально-осьові ВУ). По-перше, вони не вимагають орієнтовки на вітер та установки додаткових пристроїв, виконуючих таку функцію; по-друге, до вільного кінця вала можуть бути підключені будь - які пристрої, що перетворюють енергію обертання в інший вид енергії.

Що стосується використання на підприємствах харчової галузі вітроустановок (далі ВУ), то це, на наш погляд, також є дуже доціль-

ним. По-перше, вітер як джерело енергії є безкоштовним і невичерпним, до того ж, як вже було вказано вище, може використовуватись децентралізовано. В сучасних умовах це важливо, тому що спостерігається поява все більшого числа середніх та малих харчових підприємств, які досить часто розташовані у місцевості, де потрібно автономне джерело енергії.

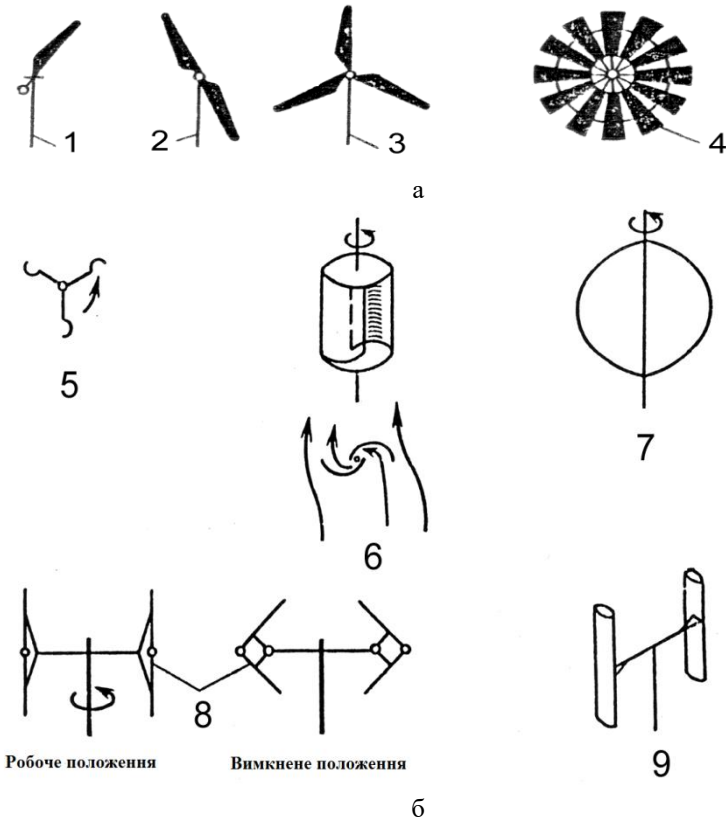


Рис. 11.4. Класифікація ВУ по розташуванню вітроколеса:

а) з горизонтальним розташуванням осі обертання:

1 – однолопатеве вітроколесо; 2 – дволопатеве; 3 – трилопатеве; 4 – багатолопатеве («ромашка»);

б) з вертикальною віссю обертання: 1 – чашковий анемометр;

6 – ротор Савоніуса; 7 – ротор Дар'є; 8 – ротор Масгрува;

9 – ротор Еванса.

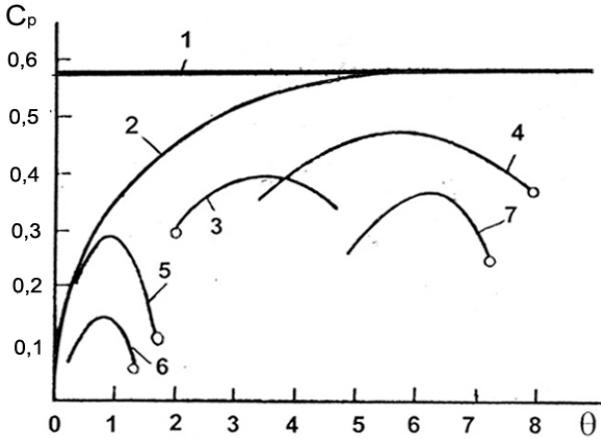
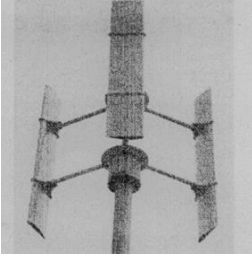


Рис. 11.5. Залежність коефіцієнта потужності  $C_p$  від швидкохідності  $\theta$  для ВУ з горизонтальною віссю і вертикально-осьовою [2]:  
 1 – критерій Бетца, 0.59; 2 – критерій Глаурта;  
 а) з горизонтальною віссю: 3 – трилопатеве вітроколесо;  
 4 – дволопатеве; 5 – багатолопатеве («ромашка»);  
 б) з вертикальною віссю: 6 – ротор Савоніуса; 7 – ротор Дар'є

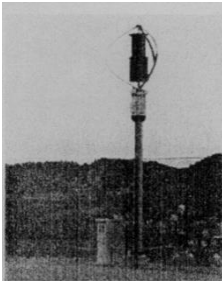
В Україні виготовляються ВУ переважно традиційного горизонтально-осьового типу, швидкохідні та тихохідні [9]. Перші мають при високому коефіцієнті використання енергії вітру деякі недоліки: важкий початковий запуск, тому що обертаючий момент зрушення вітроколеса зі стану спокою дуже малий; потребують доволі високої швидкості вітру, крім того, спостерігається підвищений шум при великих швидкостях вітру. Тихохідні мають великий обертаючий момент, можуть працювати при швидкості вітру від 2м/с, але їх ККД нижчий ніж у швидкохідних. Відомі вертикально - осьові ВУ (ротор Дар'є, ротор Савоніуса), вони мають таки ж недоліки.

Розглянемо типи і характеристики вертикально-осьових ВУ малої потужності, оскільки потреба в них в Україні може бути велика [9]. Нижче наведена інформація за деякими типами і характеристикам вертикально - осьових ВУ за даними [14] (рис. 11.6–11.14).

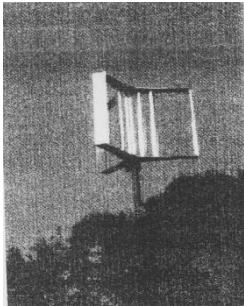




**Рис.11.6.** Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва КНР (фірма Aerowind Ssystems), вітроколесо – трьохлопатевий Н-ротор Дар'є. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,23$ .



**Рис.11.7.** Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва Японії (фірма Ecology end Energy), вітроколесо – комбінація трилопатєвого ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,15$ .



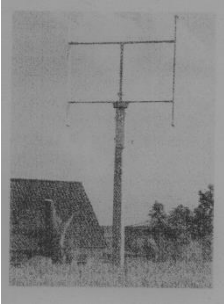
**Рис.11.8.** Вертикально - осьова вітроустановка потужністю 500 Вт виробництва Німеччини (фірма Sirena), вітроколесо – комбінація трилопатєвого Н-ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,1$ . Ціна ВУ 2189 EUR.



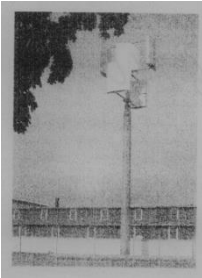
**Рис.11.9.** Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 750 Вт виробництва Італії (фірма Rorates), вітроколесо – комбінація трилопатєвого ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,2$ . Ціна ВУ 3700 EUR.



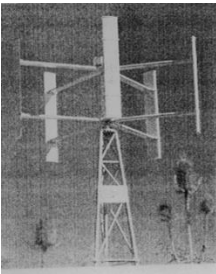
**Рис.11.10.** Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 2 кВт виробництва Німеччини (фірма Axertor), вітроколесо – комбінація дволопатевого Н-ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,32$ . Ціна ВУ 13720 EUR.



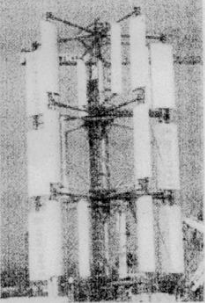
**Рис.11.11.** Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 5 кВт виробництва Німеччини (фірма TASSA), вітроколесо – дволопатевого Н-ротора Дар'є. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,29$ .



**Рис.11.12.** Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 5 кВт виробництва Німеччини (фірма), вітроколесо – комбінація дволопатевого Н-ротора Дар'є і ротора Савоніуса. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,33$ . Ціна ВУ 24800 EUR.



**Рис.11.13.** Вертикально-осьова вітроустановка потужністю 7 кВт виробництва Італії (фірма Rorates), вітроколесо – п'ятилопатевого ротора Дар'є. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,3$ .



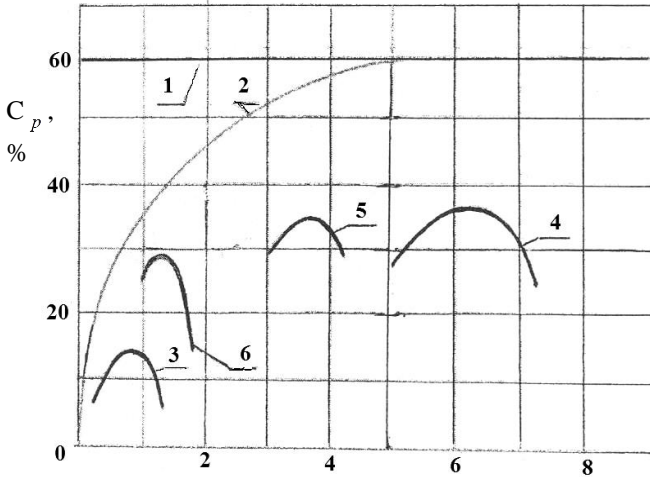
**Рис.11.14. Вертикально-осьова вітро-установка потужністю 20 кВт виробництва США (фірма Wind Harvest Company), вітро-колесо – чотирилопатевий ротор Дар'є з концентратором вітру. Коефіцієнт використання енергії вітру  $C_p = 0,5$ .**

Аналіз пропонованих типів вертикально-осьових ВУ малої потужності показав, що здебільшого в вітроколесах використовуються ротори Савоніуса, крилові лопаті, а також комбінація ротора Савоніуса і крилових лопатей. Показники ефективності використання енергії вітру здебільшого знаходяться в межах  $C_p \leq 0,35$ . Винятком можуть бути вітроколеса з концентратором вітру (рис.14). Вартість 1 кВт встановленої потужності ВУ за наявними даними коливається в межах від 4000 до 7000 EUR.

На наш погляд, в Україні в якості автономних ВУ малої потужності і, зокрема, на підприємствах харчової промисловості доцільно впровадження нового типу вертикально-осьового ВУ з середньою швидкохідністю з лопатями, що мають профілі оригінальної форми, названі КН (крилові незамкнуті) [15]. Дані ВУ характеризуються наявністю самозапуску, можливістю роботи при низькій швидкості (від 2 м/с) і будь-якого напрямку вітру. Досліджені модельні і опитні зразки роторів вертикально-осьових ВУ з даними лопатями підтвердили це. Крім того, діючий демонстраційний макет такої ВУ теж посвідчив наявність самозапуску, роботу у широкому діапазоні швидкості вітру і показав відсутність великого шуму і обледеніння. До того ж, найбільш важливе те, що дані ВУ мають досить високу ефективність. Порівняння характеристик потужності вітроколес вертикально-осьових ВУ, показує, що вітроколесо з лопатями КН має досить високий коефіцієнт використання енергії вітру ( $C_p$ ) при середній швидкохідності  $\theta = 1,5$  (рис.11.15).

Крім того, середня швидкохідність обумовлює зниження вимог до міцності та надійності конструкції ВУ в порівнянні зі швидкохідними, а вертикальне розташування валу поліпшує експлуатаційні характеристики ВУ, спрощує одержання не тільки електричної, але теплової і механічної енергії, що є важливим в умовах підприємств. Узго-

дження потужності і характеристик ВУ зі споживачем має деякі особливості, що обумовлюється нестабільністю характеристик вітру. Якщо ротор ВУ безпосередньо з'єднується з обладнанням, треба забезпечувати відповідність не тільки потужності ВУ та обладнання, але і обертаючого моменту та швидкості обертання.



**Рис.11.15. Розташування потужних характеристик вертикально-осьових ВУ по швидкохідності ( $\theta$ ) щодо критеріїв Бетца (1) і Глауєрта (2): 3 – ротор Савоніуса; 4 – ротор Дар'є; 5 – ротор з прямими криловими лопатями НАСА0018 за даними [16]; 6 – ротор з лопатями КН-6.**

Маючи залежність потужності ротору ВУ від швидкохідності, можна завжди визначити ці параметри за відомою формулою:

$$P_{\text{рот.}} = M_{\text{об.}} \cdot \omega, \quad (11.6)$$

де  $P_{\text{рот}}$  – потужність ротора ВУ, кВт;  $M_{\text{об.}}$  – обертаючий момент на валу ротора, Нм;  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Таким чином, відповідні характеристики обладнання, яке споживає енергію, обумовлюють вибір ВУ з забезпеченням роботи ротора в межах характеристики, де коефіцієнт використання енергії вітру є максимальним або величина його зниження є допустимою.

Зрозуміло, що при зміні швидкості вітру змінюються і параметри роботи ВУ. Тому в роботі споживача можуть бути паузи, що іноді вкрай неприпустимо. Тому доцільне впровадження акумулюючих

пристроїв. Якщо зосередитись на одержанні теплової енергії, то доцільно використовувати теплоакumuлюючі установки, як це пропонується в [17]. За останній час у розробці акумуляторів теплової енергії спостерігається зріст активності. Наприклад, пропонуються адсорбційні термотрансформатори, де тепла енергія акумулюється у вигляді термохімічного потенціалу сорбенту і може зберігатися тривалий час практично без втрат [18]. Автори підкреслюють, що вищезазначені теплоакumuлятори є ефективним інструментом енергозбереження, який сприяє залученню в енергообіг поновлюваних джерел енергії з нестабільними характеристиками.

З точки зору універсальності найбільш прийнятні для впровадження електричні акумулятори (батареї). Характеристики сучасних електричних батарей наведено у таблиці 1 (по даним [19]).

### 11.4. Питання міцності та надійності вітроустановок

З цієї точки зору особливої уваги заслуговують конструкції кріплення лопатей в роторах вертикально-осьових ВУ і опор для них.

Відомі конструкції кріплення лопатей в роторах вертикально-осьових ВУ досить різноманітні. Це пояснюється тим, що величини сил, що діють на кріплення лопатей в роторах, в кожному конкретному випадку залежать від ряду факторів: виду лопатевої системи, верхньої межі значення робочої швидкості вітру і т.д. На рис. 11.16–11.19 наводяться деякі найбільш характерні конструкції підвісок, в яких спостерігаються способи вирішення вимог як міцності, так і аеродинаміки при проектуванні кріплення лопатей в вертикально-осьових ВУ [20...22, 24...27]. Заслугове уваги спосіб компенсації динамічних навантажень, що наведений на рис. 11.18 (а і б). У варіанті (а) конструкція кріплення лопатей включає попередньо напружені тяги, що розташовані в порожнинах горизонтальних траверс 1.

При обертанні ротора відцентрові сили розвантажують лонжерони 2 від зусиль попередньо напружених тяг 3, підвищуючи несучу здатність траверс 1. Крім того, в опорній конструкції передбачено демпфіруючий пристрій 4, що згладжує амплітуди коливань від динамічних навантажень. У другому варіанті, що розглядається (б), до встановленого у вежі 1 валу 2 за допомогою втулки 3 і стійки 4 прикріплені траверси 5, на периферійних кінцях яких за допомогою шарнірів 6 встановлені лопаті 7. Лопаті, траверса і стійка пов'язані між собою розтяжками 8 і 9 з пружними елементами 10. Наявність шарнірів і пружних елементів компенсує змінну складову навантажень, безумовно, підвищуючи втомну міцність кріплення лопатей.

Таблиця 11.1

**Характеристики деяких батарей (Jensen і Sorensen, 1984; Cultu, 1989a; Scrosati, 1995; Buchman, 1998) та порівняння їх зі встановленою метою 1977 року (Weiner, 1977).**

Батареї	Електроліт	ККД, %	Щільність енергії	Пікова питома потужність (Вт/кг)	Постійне питоме навантаження (Вт/кг)	Термін експлуатації (кількість циклів)	Робочі температури, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Промислові:</b>							
Свинцово-кислотні	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	75	20-35	120	25	200-2000	від -20 до 60
Нікель - кадмієві	KOH	60	40-60	300	140	500-2000	від -40 до 60
Нікель - металогібридні	KOH	50	60-80	440	220	< 3000	від 10 до 50
Літій - іонні	LiPF <sub>6</sub>	70	100-200	720	360	500-2000	від -20 до 60
<b>Які розробляються</b>							
Натрій-сірні	b-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70	120	240	120	2000	від 300 до 400
Літій-сульфідні	AlN	75	130	200	140	200	від 430 до 500
Цинк-хлорні	ZnCl <sub>2</sub>	65	120	100			0
Літій-полімерні	Li-b-Alu	70	200			>1200	від -20 до 60
<b>Цільові елементи 1977 року:</b>							
Високоенергетичні		65	265		55-100	2500	
Високотужні		70	60	280	140	1000	

Конструкція, представлена на рис. 11.19, що складається з горизонтальних 1 і похилих 2 (з малим кутом з горизонталлю) траверс, пов'язаних стрижнями 3, достатньо проста по конфігурації і може забезпечити необхідну міцність.

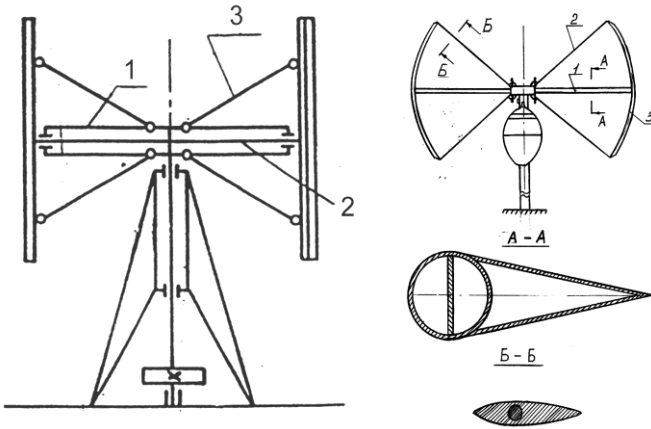


Рис. 11.16. Конструкції кріплення лопатей

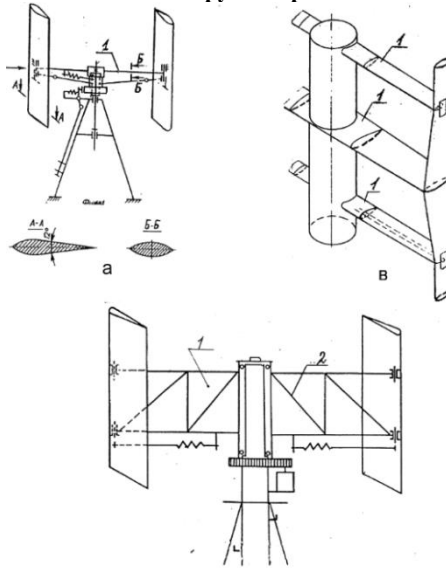


Рис. 11.17. Конструкції кріплення лопатей

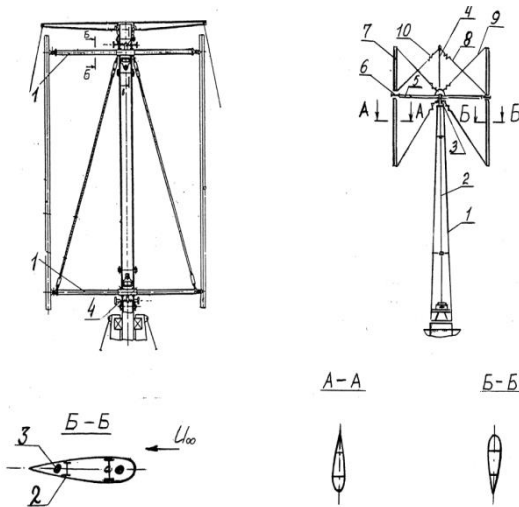


Рис. 11.18. Конструкції кріплення лопатей

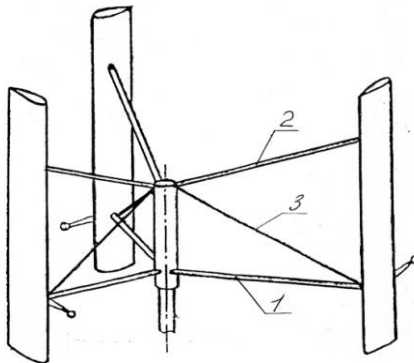


Рис. 11.19. Конструкція кріплення лопатей

Резюмуючи дані літературних джерел по конструкціях кріплень лопатей в вертикально-осьових ВУ, можна відзначити наступне:

- розробка кріплень ведеться з урахуванням вимог по втомній міцності і, отже, довговічності;
- відзначається тенденція до зменшення негативного впливу кріплення на набігаючий потік шляхом додавання аеродинамічних форм деталям кріплення (переважно траверс);



• в деяких конструкціях передбачається розташування в деталях кріплення регулюючих елементів.

### 11.5. Конструкції опори вітроустановок

Існуючі конструкції опор досить різноманітні. При виборі типу конструкції не останню роль відіграє величина вітрового навантаження на неї. На рис. 11.20 наведені моделі найбільш поширених типів опор, досліджених в аеродинамічній трубі ЦАГІ ім. Н.Є. Жуковського, а в табл. 11.2 – величини коефіцієнтів лобового опору для них [28].

Конструкційні матеріали опорної частини ВУ – найчастіше сталь і залізобетон.

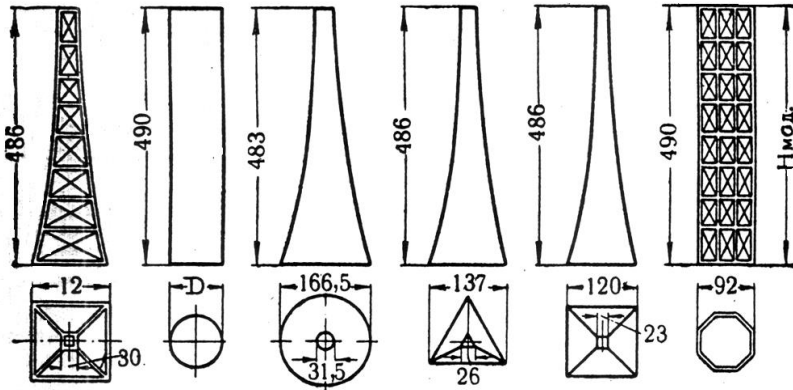


Рис. 11.20. Типи моделей опор, випробуваних в аеродинамічній трубі ЦАГІ ім. Н.Є. Жуковського [28]

Що стосується висоти опорної вежі, то при визначенні мінімальної висоти опори, на нашу думку, слід користуватися рекомендаціями [28] для її визначення, оскільки подібні дослідження опор більше не проводились.

$$h = a + m + d, \quad (11.7)$$

де  $a$  – висота перешкод поблизу розташування ВУ, м;  $m$  – відстань від найвищої точки перешкод до нижньої межі площі, захопленої вітроколесом, приймається рівним 2 м;  $d$  – висота частини опори, що входить всередину вітроколеса, м.

До цього слід додати, що чим більша частина опори входить всередину вітроколеса, тим більше спотворюється вітровою потік. Так,

наприклад, сталева гратчаста опора може викликати втрати енергетичного потенціалу потоку, в цьому випадку, до 90%.

Таблиця 11.2

**Величини коефіцієнтів лобового опору башт**

Назва моделі згідно рис. 3	Коефіцієнт лобового тиску, $R_x$	Відстань точки докладання рівнодіюча від основи, $\frac{x}{h}$ (в %)
Чотиригранна фермова	0,00085	42,8
Циліндрична суцільна	0,00105	49,4
Конічна суцільна	0,0013	41,2
Тригранна суцільна, розташована ребром до вітру	0,0017	32,1
Тригранна суцільна, розташована гранню до вітру	0,0029	28,5
Чотиригранна суцільна, розташована ребром або гранню до вітру	0,0024	29,8
Циліндрична фермова	0,0014	49,4

Але для найбільш точного визначення висоти розташування вітроколеса треба вимірювати швидкість вітру впродовж певного періоду з одержанням діапазону значень та середньорічної величини швидкості вітру.

Крім того, вибір конструкції опорної вежі, в основному, обумовлює коефіцієнт лобового тиску, а тому і величину перекидного моменту, оскільки він визначає величину сили дії на вежу вітрового навантаження. З розглянутих вище заслуговують на увагу чотириного фермова і циліндрична суцільна вежі.

Слід звернути увагу на доцільність використання конструкційних матеріалів з точки зору довговічності. Дешеві матеріали навряд чи витримають великий термін служби ВУ. В якості характеристики довговічності найчастіше вказують терміни служби ВУ в 20 і 30 років. Можна погодитися з цими цифрами для опорних конструкцій із застосуванням відповідних матеріалів.

Для ротора ж такі терміни гарантувати нереально, особливо для лопатей, оскільки адекватний опис умов їх роботи неможливий, в основному, через наявність випадкових непередбачуваних змін вітру. Згідно результатів дослідження вітроенергетичних установок потужністю від 25 до 250 кВт, частота поломок елементів складає від 1 до 6 на рік [29]. Таким чином, доцільно передбачати змінні лопаті, особливо в ВУ малої потужності, як це пропонується у [30]. У цьому випадку застосування дешевих матеріалів цілком обґрунтовано, оскільки вимоги до втомної міцності можуть бути в значній мірі знижені, а процес виготовлення спрощено і може бути гарантовано досить великий термін служби ВУ. Необхідно зазначити, що в загальному випадку вибір матеріалів буде визначатися розрахунком конкретної ВУ на міцність.

### 11.6. Застосування вітроустановок в системах опалення та гарячого водопостачання

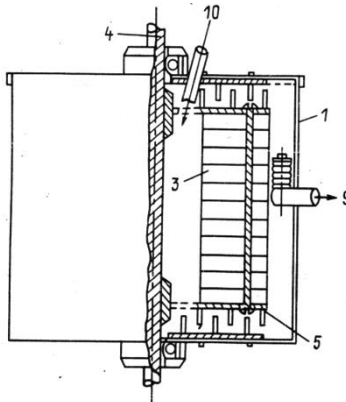
В [31] розглянуті деякі аспекти цього напрямку. Вітроустановки можуть використовуватися не тільки в якості електрогенеруючих пристроїв, але і для прямої генерації теплоти, що використовується потім для опалення, отримання гарячої води і так далі. Принципова схема системи опалення з використанням вітроустановки зазвичай включає наступні пристрої: тепловий акумулятор, генератор, у разі електронагріву теплоносія – електрогенератор, електронагрівачі, трубопровідну систему для теплоносія з радіаторами нагрівання. Існує також спосіб нагрівання теплоносія в тепловому акумуляторі-генераторі за допомогою перемішування теплоносія спеціальним ротором, приєднаного, безпосередньо, до обертового валу.

Оскільки швидкість вітру змінюється в часі, потужність вітроустановки розраховується за так званою номінальною швидкістю. Від величини номінальної швидкості будуть залежати розміри вітроколеса і, отже, вартість вітроустановки. Таким чином, при визначенні номінальної швидкості необхідно вирішувати задачу оптимізації узгодження величини вироблення енергії та вартості вітроустановки. Для цього необхідно дані з вітрової обстановки в місці розміщення вітроустановки. Точність вибору номінальної швидкості може істотно знизити

вартість вітроустановки. З іншого боку, реальна встановлена потужність вітроустановки може бути менше розрахункової, так як необхідна сумарна кількість виробленої енергії за опалювальний сезон залежить від діапазону зміни швидкості вітру та її повторюваності. При наявності акумулюючих пристроїв сумарна кількість виробленої енергії може бути рівномірно розподілена у часі. Таким чином, точна оцінка динаміки швидкості вітру в часі і розрахунок потужності вітроустановки на базі такої оцінки може суттєво зменшити витрати на неї.

При використанні вітроустановки для одержання теплової енергії у систему повинні входити не тільки трубопровідна система для теплоносія з радіаторами нагрівання, але і тепловий акумулятор. У разі електронагріву теплоносія для теплового акумулятора в системі необхідні електрогенератор і електронагрівачі. Швидкість вітру нестабільна, тому характеристики електрогенератора повинні бути м'якими з широким діапазоном значень. Особливу увагу слід звернути на узгодження числа обертів вала електрогенератора з числом обертів вала вітроустановки з можливістю установки редуктора.

Існує й інший варіант нагрівання теплоносія – використання ефекту переходу опору перемішування рідини в теплову енергію. Вданий пристрій акумулятора-нагрівача для нагрівання теплоносія за допомогою його перемішування спеціальним ротором, під'єднаним до обертового валу, було запропоновано в [32]. Конструкція акумулятора-нагрівача зображена на рис. 11.21.



**Рис. 11.21. Тепловий акумулятор-нагрівач**

Ротор 3 з приводом 4 обертається в заповненому водою корпусі 1, при цьому енергія гальмування перетворюється в теплову енергію і

нагріває воду. Для посилення ефекту завихрення передбачені шайби 5. Відведення і підведення води здійснюється через патрубки 9 і 10.

Однак у цьому разі, структура потужності вітроустановки повинна відповідати умовам подолання опору теплоносія обертанню ротора. Іншими словами, в структурі потужності вітроустановки повинна превалювати величина обертального моменту на валу. Крім того, вітроустановки повинні розташовуватися близько до об'єкту опалення, що висуває вимоги щодо забезпечення її малошумності. Ці умови передбачають застосування певного типу вітроустановки: тихохідної або середньої швидкохідності, переважно вертикально-осьової. Зокрема, до них відносяться ротор Савоніуса [2,14] і ротор з лопатями типу КН [15].

### Висновки

1. Рішенням проблеми енерго- та ресурсозбереження у переробній промисловості, як і в інших галузях є використання альтернативних і поновлюваних джерел енергії, а також максимальне використання виробленої вторинної теплової енергії.

2. В Україні можуть бути найбільш потрібними автономні ВУ малої потужності, в якості електрогенеруючих, теплогенеруючих, водопід'ємних, млинових та інших агрегатів.

3. В якості автономних ВУ малої потужності доцільне застосування вертикально-осьових ВУ. Цей факт істотно зосереджує на роботі та виготовленні вертикально-осьових ВУ середньої швидкохідності з малою потужністю, які з урахуванням вимог по малошумності та малій вібрації можуть бути найбільш перспективними в якості малої вітротехніки.

### Список використаних джерел

1. Берковский Б.М. *Возобновляемые источники энергии на службе человека* / Б.М. Берковский, В.А. Кузьминов – М.: Наука, 1987. – 128 с.
2. Твайделл Дж. *Возобновляемые источники энергии* / Дж. Твайделл, А. Уэйр: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
3. *Мировой рынок тепловых насосов «воздух-вода» // Холодильная техника, №2. – 2010.*
4. Щербина О. *Енергія для всіх. Технічний довідник з енергоощадності та відновлювальних джерел енергії. Видання четверте* / О. Щербина. – Ужгород: Видавництво Валерія Падяка – 2007.
5. Лежнева Л.И. *Теплонасосы: Крымские перспективы.* / Л.И. Лежнева. – *Энергосбережение.* – 2010 – №9.

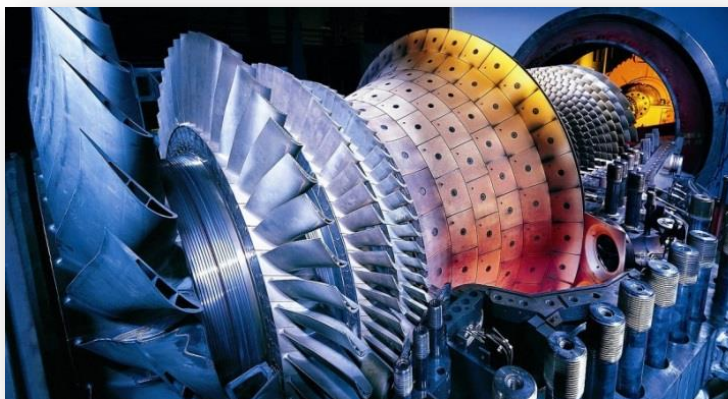
6. *Переход с R22 на альтернативные хладагенты – актуальное, простое и экономически эффективное решение // Холодильная техника, №6, –2010.*
7. *Моника Витт Природные хладагенты состояние вопроса и тенденции / Витт Моника. – Холодильная техника, №10–2010.*
8. *Доктор Карин Ян. Экологически безопасные тепловые насосы. / Ян Карин. – Холодильная техника, №4 –2010.*
9. *Онiпко О. Ф. Вiтроенергетика та енергетична стратегiя / О. Ф. Онiпко, Б.П.Коробко, В.М.Миханюк. – Київ.: Фенікс, 2008.*
10. *Отчет Всемирной ассоциации по использованию ветровой энергии за .2009.*
11. *Потенциал ветроэнергетики в Украине // Энергия будущего века, № 1. – 1996. – С.7.*
12. *Вiтроенергетика // Новiтнi технологiї в сферi нетрадицiйних i вiдновлюваних джерел енергiї. – Київ, № 2. – 1999. –С.45 - 54.*
13. *Коробко Б.П. Технологiчнi аспекти виконання завдань нацiональної енергетичної програми з розвитку вiтроенергетики. // Тези доповiдi. Наук.-практ. конф. з питань розвитку i впровадження техн. i технол. використання нетрадиц. i вiдновлюваних джерел енергiї. – АР Крим. – 2 - 9 вересня 1996. – Київ. – 1996. –С. 8.*
14. *Дзендзерский В.А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзендзерский, С.В.Тарасов, И.Ю.Костюков. – Киев. «Наукова думка», 2011. – 591с.*
15. *Рожкова Л.Г. Новые формы профилей лопастей вертикально – осевых ветроустановок средней быстроходности: Диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук: 05.14.07. – Сумы, 2005. – 196с.*
16. *Баклушин П.Г. Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик ортогональных крыльчатых ветроколес / П.Г. Баклушин, К.П. Вашкевич, В.В. Самсонов // Сборник научных трудов Гидропроекта, вып. 129 «Ветроэнергетические станции». – Москва, 1988. – С. 98 - 105.*
17. *Рожкова Л.Г. Шляхи впровадження енергоустановок, що використовують альтернативнi джерела енергiї на переробних підприємствах, та узгодження їх вихiдної потужності зі споживачем /Л.Г. Рожкова, О.В. Радчук, Д.Д. Казаков // Вiсник нацiонального технiчного унiверситету «ХП» – Серiя: «Новi рiшення в сучасних технологiях». – 2012. – №50(956). – 2012. – С.139 - 146.*
18. *Корiнчевська Т.В. Інститут технiчної теплофiзики Нацiональної академiї наук України / Т.В. Корiнчевська, Ю.В. Снежкин, Д.М.Чалаев, В.С.Шаврiн, Н.О. Дабiджа. – Матерiали з iнтернету. – 2009.*
19. *Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумуляирование энергии: Учебно-справочное руководство / Б.Соренсен – М., Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 296с.*
20. *Карусельный ветродвигатель. А.с. 333285 СССР, МКИ F03D 3/00 / Погребной С.И. – Оубл. 21.03.72, Бюл. №11.*
21. *Ветроколесо с вертикальным валом. А.с. 1236149 СССР, МКИ F03D 3/00 / Ударцев Е.П., Шевченко Ю.В. – Оубл. 07.06.86, Бюл. №21.*

22. Карусельный ветродвигатель. А.с. 992799 СССР МКИ F03D 3/00 / Погребной С.И. – Оpubл. 30.01.83, Бюл. №4.
23. Ветродвигатель. А.с. 1255738 СССР, МКИ F03D 3/06 / Бабинцов И.А., Неграш А.С. – Оpubл. 07.09.86, Бюл. №33.
24. Ветродвигатель. А.с. 1455035 СССР МКИ F03D 3/00 / Денисенко Г.И., Валенко В.И., Васько П.Ф., Кудря С.А. – Оpubл. 30.10.89, Бюл. №4.
25. Ротор ветродвигателя. А.с. 1546697 СССР МКИ F03D 3/06 / Харченко Н.Н., Васков Г.К. – Оpubл. 28.08.90, Бюл. №8.
26. Ветроустановка. А.с. 1657724 СССР МКИ F03D 3/06 / Харченко Н.Н., Волков Г.К., Арышев Ю.А. – Оpubл. 23.06.91, Бюл. №23.
27. Ветроколесо. А.с. 2024782 СССР МКИ F03D 3/06 / Саленко С.Д., Штерцер В.А., Шатилов К.А. – Оpubл. 15.12.94, Бюл. №23.
28. Фатеев Е.М. Ветродвигатели и ветроустановки. – Москва: ОГИЗ – Сельхозгиз. – 1948. – 544с.
29. К. ДЖ. Турян, Дж.Х. Стрикленд, Д.Э. Берг. Мощность ветроэлектрических агрегатов с вертикальной осью вращения. //Ародинамическая техника, № 8. – 1988. – С.100 - 115.
30. Рожкова Л.Г. Повышение надежности обеспечения энергией ветроустановками малой мощности конструкторско - технологическими методами / Л.Г. Рожкова, О.В. Радчук //
31. Рожкова Л.Г. Сравнительный анализ применения тепловых насосов и ветроустановок в системах отопления / Л.Г. Рожкова, М.Ю.Савченко-Перерва //
32. Гидравлический тормоз для производства тепла. Wasserwirbelbremse zur Wärmezeugung Заявка 4202395ФРГ, МКИ<sup>5</sup> F 24 J 3/00 F 03 D 11/00 / Walter Robert. -- № 4202395.5; Заявл.29.01.92; Оpubл.5.8.93

# ЧАСТИНА III

---

## Інноваційні технології комбінованого виробництва енергії для переробних підприємств



*За загальною редакцією*

**професора Радченка М.І.**

*завідувача кафедри кондиціонування і рефрижерації  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова*



## Розділ 12/Chapter 12

### Інноваційні технології комбінованого виробництва енергії, тепла та холоду (тригенерація).

#### Внутрішньоциклова тригенерація

М.І. Радченко, А.М. Радченко, Р.М. Радченко

### Innovation technologies of combined power, heat and cooling (trigeneration). In-cycle trigeneration

Mykola Radchenko\*, Andrii Radchenko, Roman Radchenko

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The present state of combined cooling, heating and power technologies is analyzed. In-cycle trigeneration with cyclic engine air cooling as a dominant concept of combined cooling, heating and power production providing enhancement of electricity and fuel saving has been proved. Innovation technologies with combined two-stage waste heat recovery chillers as the most efficient ones for moderate climate conditions are proposed.

**Keywords:** *power, heat, cooling, in-cycle trigeneration, engine intake air cooling, waste heat recovery chiller*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [andrad69@mail.ru](mailto:andrad69@mail.ru)

## Зміст

### *Вступ*

*12.1. Класифікація тригенераційних технологій  
комбінованого виробництва енергії*

*12.2. Аналіз впливу кліматичних умов на термодинамічну  
ефективність теплових двигунів установок  
енергозабезпечення*

*12.3. Аналіз сучасних тригенераційних технологій та визна-  
чення перспективних напрямів комбінованого енерго-,  
тепло- та холодозабезпечення з внутрішньоцикловою  
тригенерацією*

### *Висновки*

*Список використаних джерел*

## Вступ

Комбіноване виробництво декількох видів енергії (на додаток до основної – механічної або електричної) шляхом використання скидного теплового потенціалу енергоустановок забезпечує найбільш повне з мінімальними втратами тепла використання первинної енергії палива. Виробництво двох видів енергії (механічної/електричної та теплової) здійснюється в когенераційних технологіях [1, 2]. Найбільш поширеним прикладом когенераційних установок є газотурбінні установки (ГТУ) та установки на базі двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) з утилізаційними котлами (УК), в яких скидна теплота відпрацьованих газів використовується для отримання гарячої води або водяної пари, що витрачаються, як правило, на теплофікаційні або технологічні потреби. Сезонний або ж періодичний характер останніх різко скорочує коефіцієнт використання когенераційних технологій за теплих кліматичних умов. То ж вельми доцільним є використання надлишкового теплового потенціалу енергоустановок для виробництва холоду як третього виду енергії. Безумовною перевагою технологій комбінованого виробництва енергії, тепла та холоду (тригенерація) з використанням останнього в робочому циклі самих енергоустановок (внутрішньоциклова тригенерація – термін, вперше введений авторами для ідентифікації зазначеного напрямку тригенераційних технологій [3, 4]) є зростання виробництва електричної/механічної енергії як найбільш універсального і дефіцитного виду, оскільки її виробництво здійснюється з найменшим коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Відомі концепції підвищення ефективності установок комбінованого електро-, тепло- та холодопостачання обмежуються рішенням

кола завдань, що відносяться до позациклового (для зовнішніх споживачів) використання холоду на технологічні потреби і комфортне кондиціонування житлових приміщень [5, 6] або ж, навпаки, тільки для охолодження повітря на вході двигунів, причому обмежуються трансформацією теплоти в тепловикористовуючих холодильних машинах (ТХМ) абсорбційного типу.

Метою дослідження є визначення особливостей і переваг технологій комбінованого виробництва енергії, тепла та холоду з внутрішньоцикловою тригенерацією як основної невід’ємної субтехнології, що визначає ефективність застосування тригенерації в цілому з технологічним призначенням включно.

### 12.1. Класифікація тригенераційних технологій комбінованого виробництва енергії

Когенераційні технології виробництва трьох видів енергії за рахунок використання одного первинного джерела енергії відносяться до тригенераційних. При цьому під третім видом енергії мають на увазі холод на додаток до механічної або електричної енергії (як основного виду енергії) і теплової як другого виду енергії [3–6].

Основи тригенерації були розроблені в Київ НДІЕПЕ разом з інститутом технічної теплофізики (ІТТФ) АН УРСР в 60-х роках минулого століття [7]. В Київ НДІЕПЕ розроблялися також проекти холодильних центрів, що працюють на тепловій енергії міських ТЕЦ, для Києва і Ташкента. Однак проекти не були реалізовані через недостатньо високий рівень технологій.

В англійських джерелах тригенераційні установки (trigeneration systems) відомі ще як установки комбінованого виробництва холоду, тепла і енергії механічної/електричної (combined cooling, heating and power – ССНР) і установки автономного енергозабезпечення (integrated energy systems). Розвиток тригенераційних технологій, особливо інтенсивний в останні 30 років, зумовлений недовикористанням у теплу пору року скидного теплового потенціалу енергоустановок у разі застосування традиційних когенераційних технологій виробництва теплової енергії у вигляді пари або гарячої води, споживання якої у більшості випадків обмежується теплофікаційними потребами. Виробництво ж електричної або механічної енергії утилізаційними паротурбогенераторами пов’язане зі значним ускладненням і зростанням вартості енергоустановки.

Тригенерація передбачає доповнення базової когенераційної установки холодогенеруючою надбудовою, яка функціонує за загаль-

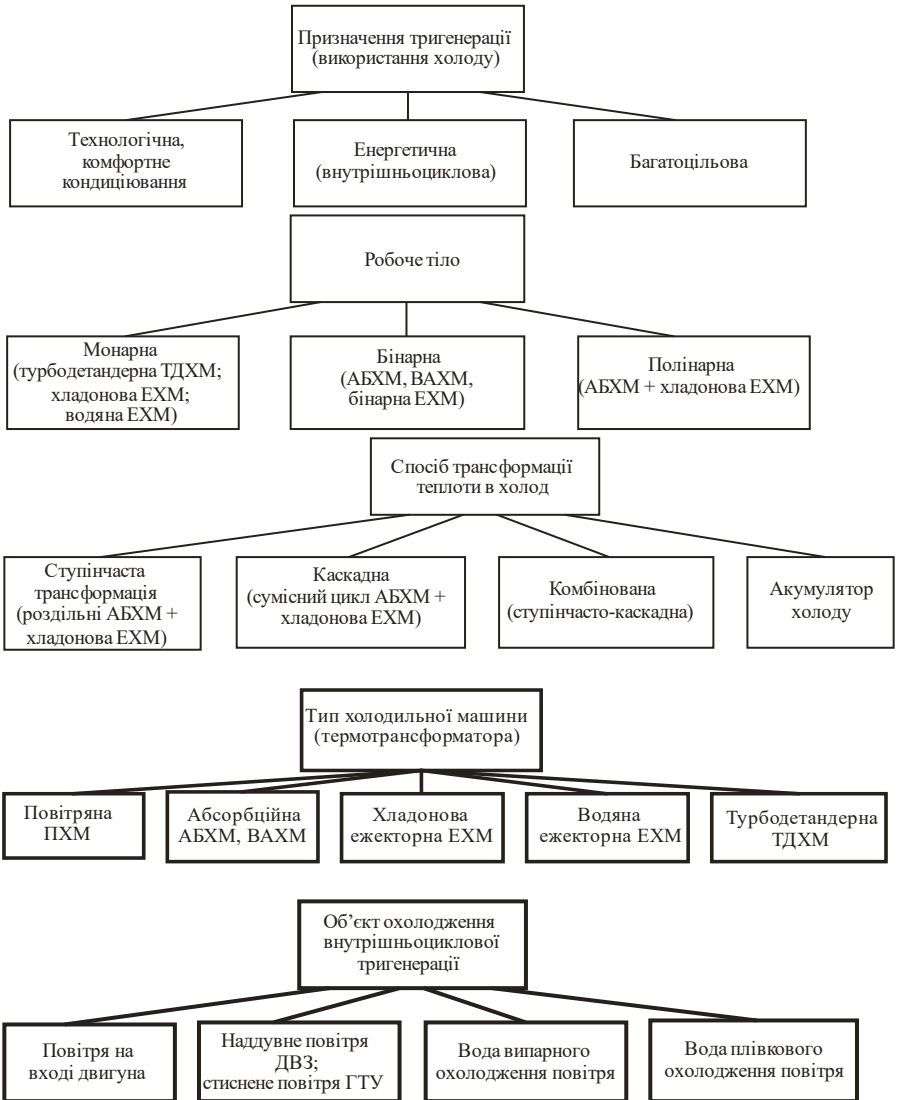
ним або роздільним з базовою установкою циклом. В наведеному на рис.12.1 прикладі класифікації тригенераційних технологій акцент зроблено на способах трансформації теплоти в холод і його використання шляхом охолодження циклового повітря базових двигунів установок комбінованого виробництва холоду, тепла і енергії (механічної/електричної), а також способах відведення теплоти від термотрансформаторів (ТХМ) і теплових двигунів у доквілля, тобто на всьому комплексі трансформації теплоти в холод.

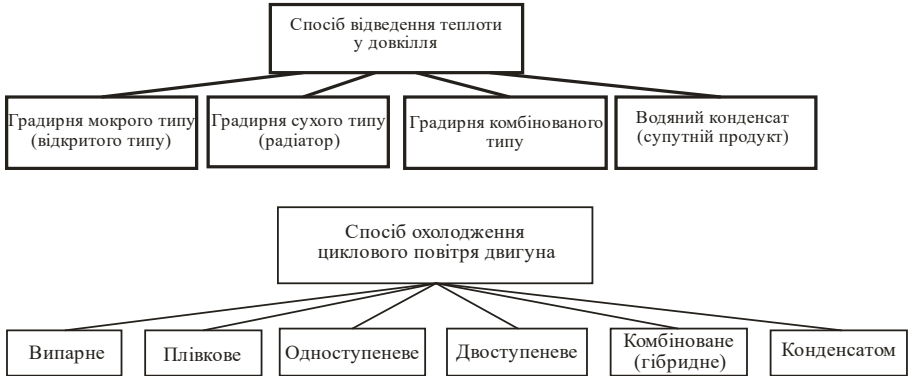
За призначенням тригенерацію підрозділяють на технологічну, коли вироблений холод застосовується для технологічних потреб зовнішніх (по відношенню до базової енергетичної установки) споживачів, наприклад, у харчових переробних виробництвах, системах комфортного та технологічного кондиціонування [5–8], і енергетичну – з використанням холоду для охолодження циклового повітря (робочого тіла) ГТД або ДВЗ, тобто для потреб базової енергетичної установки [3, 4, 9], і комбіновану [10–12].

Монарна тригенерація передбачає вироблення холоду в тригенераційній надбудові, яка працює за загальним з базовою когенераційною установкою термодинамічним циклом (із загальним робочим тілом). Прикладом монарної тригенерації може служити використання енергії розширення (перерозширення) відхідних газів повітряною холодильною машиною для охолодження повітря на вході в компресор ГТД і ДВЗ та наддувного повітря ДВЗ [13]. При цьому базова установка функціонує як когенераційна – з УК для отримання гарячої води або водяної пари. У разі відсутності виробництва теплової енергії, обов'язкової для будь-якої когенераційної технології, зазначені монарні технології можна віднести до тригенераційних умовно, оскільки вони виробляють два види енергії, а друга складова (теплова енергія) заміщена холодом.

Бінарна тригенерація передбачає вироблення холоду у тригенераційній надбудові, яка працює за різними з базовою когенераційною установкою термодинамічними циклами (із застосуванням різних робочих тіл). Прикладом бінарної тригенерації є виробництво холоду холодильними машинами (ХМ) на низькокиплячих робочих тілах (НРТ) або абсорбційними ХМ (АХМ), що використовують теплоту вторинних енергоресурсів (ВЕР) двигунів. Що стосується тригенераційної енергетичної установки, то вона може бути як бінарною – при роботі базової когенераційної установки за монарним циклом, так і полінарною – у разі бінарної базової когенераційної установки.

## ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ





**Рис. 12.1.** Приклад класифікації тригенераційних технологій за способами трансформації теплоти в холод, використання отриманого холоду і відведення теплоти від термотрансформаторів і теплових двигунів у довкілля

Тригенерацію енергетичного призначення правомірно розглядати як внутрішньоциклову [3, 4], оскільки генерований холод використовується для вдосконалення термодинамічного циклу базового двигуна (зменшення роботи стискання компресора, збільшення корисної потужності двигуна і т.п.) шляхом покращення параметрів циклу. Така внутрішньоциклова тригенерація забезпечує збільшення виробництва електричної/механічної енергії при найбільш несприятливих у тепловому відношенні умовах експлуатації (високих температурах повітря на вході) та ефективне використання тригенераційної технології навіть за відсутності зовнішніх споживачів холоду.

## 12.2. Аналіз впливу кліматичних умов на термодинамічну ефективність теплових двигунів установок енергозабезпечення

Термодинамічна ефективність теплових двигунів: газотурбінних (ГТД) і внутрішнього згоряння (ДВЗ) – оцінюється коефіцієнтом корисної дії (ККД,  $\eta_e$ ) і як похідними показниками – питомою витратою палива та потужністю.

При експлуатації теплових двигунів мають місце як сезонні зміни кліматичних умов і відповідно споживання теплової енергії на теплофікаційні потреби, так і їх добові коливання. На рис. 12.2 наведено зміну температури  $t_{\text{нв}}$ , відносної вологості  $\phi_{\text{нв}}$  та вологовмісту  $d_{\text{нв}}$  на-

вколишнього повітря протягом 1.07...14.07.2009 (м. Одеса). Параметри фіксувалися кожні 3 години.

Як видно, протягом діб мають місце суттєві коливання температури  $t_{\text{нв}}$  та відносної вологості  $\phi$  навколишнього повітря, причому максимумам  $t_{\text{нв}}$  відповідають мінімуми  $\phi$  і навпаки. Наявність денних і нічних протилежно спрямованих екстремумів  $t_{\text{нв}}$  і  $\phi$ , існування яких проявляться тільки при поточних вимірюваннях  $t_{\text{нв}}$  і  $\phi$ , створює сприятливі умови для більшого зниження температури повітря на вході ДВЗ і ГТД вдень (завдяки меншим відносній вологості  $\phi$  і відповідно витратам холоду на конденсацію водяної пари з вологого повітря), коли має місце значне погіршення термодинамічної ефективності двигунів через підвищення температур  $t_{\text{нв}}$  на вході. В нічний час, коли  $t_{\text{нв}}$  нижче і менше потреба в охолодженні повітря на вході двигунів, зниження температури повітря також менше, оскільки через більшу вологість  $\phi$  зростають витрати холоду на конденсацію водяної пари з вологого повітря. Очевидно, що прісну воду, отриману як супутній продукт охолодження повітря, можна застосовувати як для потреб самої енергоустановки, так і для побутових.

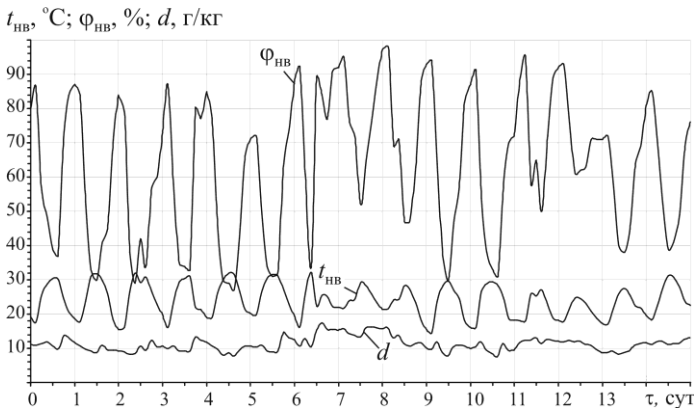


Рис. 12.2. Зміна температури  $t_{\text{нв}}$ , відносної вологості  $\phi_{\text{нв}}$  та вологовмісту  $d_{\text{нв}}$  навколишнього повітря протягом 1.07...14.07.2009 (м. Одеса)

Як видно, температура навколишнього повітря  $t_{\text{нв}}$  упродовж липня місяця утримується на рівні  $t_{\text{нв}} = 25^\circ\text{C}$ , знижуючись у нічні часи та рано вранці до  $20^\circ\text{C}$  і підвищуючись до  $30^\circ\text{C}$  та вище опівдні. Останнє

супроводжується різким погіршенням паливної ефективності двигунів і гостро ставить проблему їх охолодження.

Від температури зовнішнього повітря  $t_{\text{нв}}$  на вході суттєво залежить ефективність енергоустановок на базі ГТД (рис. 12.3).

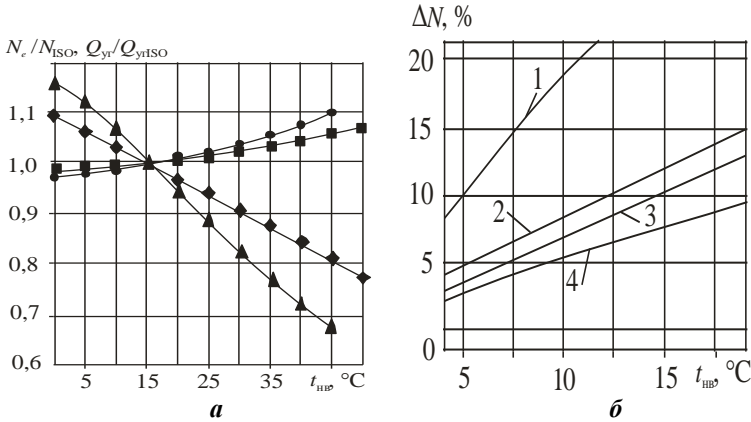


Рис. 12.3. Залежність потужності  $N/N_{\text{ISO}}$  і теплоти відхідних газів  $Q/Q_{\text{ISO}}$  у відносних величинах від температури  $t_{\text{нв}}$  повітря на вході для ГТД LM-6000 і FR-7 [14] (а) та ГТД різних категорій (б) [15]: 1 – ГТД авіаційного виконання простого циклу; 2 – важкі індустріальні ГТД простого циклу (температура газів на вході в турбіну – після камери згоряння ТТТ < 1200 °С); 3 – сучасні індустріальні ГТД простого циклу (ТТТ > 1200 °С); 4 – індустріальні ГТД комбінованого циклу; ♦ –  $N/N_{\text{ISO}}$  FR-7; ▲ –  $N/N_{\text{ISO}}$  LM-6000; ■ –  $Q/Q_{\text{ISO}}$  FR-7; ● –  $Q/Q_{\text{ISO}}$  LM-6000

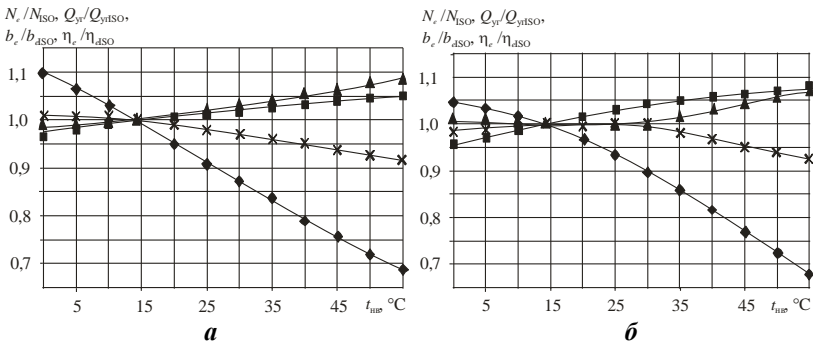
За даними [14] кожні 10 °С збільшення  $t_{\text{н}}$  порівняно з температурою  $t_{\text{нв}} = 15$  °С (базовою відповідно до ISO 3977) призводять до зменшення потужності  $N_e$  важких індустріальних ГТД типу Frame-7 (FR-7) "General Electric" (наприклад GE7121EA:  $N_e = 87$  МВт) на 5...9 %, а для ГТД авіаційного виконання LM-6000 "General Electric" ( $N_e = 45$  МВт) зростання температури від 15 до 35 °С викликає зниження потужності на 20 % (рис. 12.3,а). При цьому з підвищенням  $t_{\text{нв}}$  на 25 °С теплові втрати з відхідними газами зростають приблизно на 5 %, що свідчить про наявність резервів підвищення ефективності ГТД утилізацією скидної теплоти.

Як видно з рис. 12.3,б, температура зовнішнього повітря  $t_{\text{н}}$  на вході суттєво впливає на потужність ГТД усіх категорій: ГТД авіацій-



ного виконання простого циклу, важких індустріальних ГТД простого циклу (температура газів на вході в турбину – після камери згоряння  $T_{IT} < 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), сучасних індустріальних ГТД простого циклу ( $T_{IT} > 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), індустріальних ГТД комбінованого, бінарного, циклу (газопаротурбінних).

Залежності потужності  $N_e/N_{ISO}$ , ККД  $\eta_e/\eta_{eISO}$ , питомої витрати палива  $b_e/b_{eISO}$  та теплоти відпрацьованих газів  $Q_{yr}/Q_{ISO}$  від температури повітря  $t_{нв}$  на вході у відносних величинах порівняно з  $t_{нв} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  для авіаційних ГТД фірми "General Electric" LM2500+ і LM1600 наведено на рис. 12.4 [9].



**Рис. 12.4.** Залежності потужності  $N_e/N_{ISO}$ , ККД  $\eta_e/\eta_{eISO}$ , питомої витрати палива  $b_e/b_{eISO}$  та теплоти відпрацьованих газів  $Q_{yr}/Q_{ISO}$  від температури навколишнього повітря  $t_{нв}$  на вході у відносних величинах порівняно з  $t_{нв} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  для ГТД LM2500+ (а) і LM1600 (б):  $\blacklozenge$  – потужність,  $N_e/N_{ISO}$ ;  $\blacksquare$  – теплота відпрацьованих газів  $Q_{yr}/Q_{ISO}$ ;  $\blacktriangle$  – питома витрата палива,  $b_e/b_{eISO}$ ;  $\times$  – коефіцієнт корисної дії ККД,  $\eta/\eta_{ISO}$  [9]

Як видно, підвищення температури  $t_{нв}$  на  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  від  $15$  до  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  призводить до падіння потужності  $N_e$  ГТД на  $30\%$ , ККД на  $8\%$ , зростання питомої витрати палива відповідно на  $8\%$  і теплових втрат з відпрацьованими газами на  $5\dots 8\%$ .

Зі збільшенням температури повітря  $t_n$  на вході компресора погіршується термодинамічна ефективність і вітчизняних ГТД, призначених зокрема й для газоперекачувальних компресорних станцій (КС). Так, з підвищенням  $t_n$  на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ККД ГТД виробництва ДП НВКГ "Зоря-Машпроект" зменшується в абсолютних величинах на  $0,825\dots 1,025\%$  (менша величина відповідає UGT16000 з  $\eta_e = 30,7\%$

при  $t_{н} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , більша – UGT10000 з  $\eta_e = 35,9\%$  на рис. 12.5,*a*) або 2,7...2,8% у відносних величинах; питома витрата палива ГТД  $b_e$  зростає на 7...8 г/(кВт·год.), де менша величина відповідає UGT10000, а більша – UGT16000 (рис. 12.5,*б*) або приблизно на 3%.

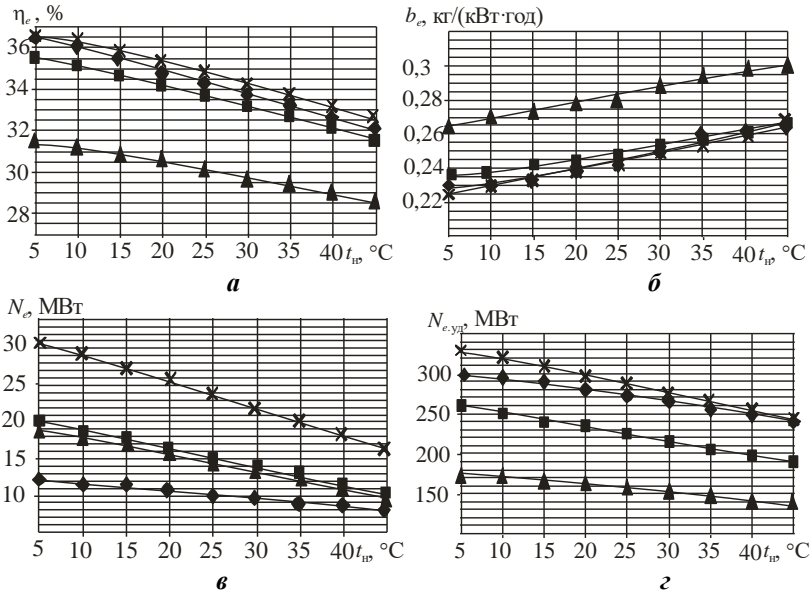


Рис. 12.5. Зміна ККД  $\eta_e$  (а), питомої витрати палива  $b_e$  (б), потужності  $N_e$  (в) і питомої потужності  $N_{e,уд}$  (г) залежно від температури зовнішнього повітря  $t_{н}$  на вході ГТД: ♦ – UGT10000; ■ – UGT15000; ▲ – UGT16000); x – UGT25000

Відповідно знижуються потужність  $N_e$  на 9,5...11,7% (для UGT10000 і UGT25000 на рис. 12.5,*в*) і питома, віднесена до витрати повітря, потужність  $N_{e,уд}$  на 6,2...6,6% (для UGT10000 і UGT16000 на рис. 12.5,*г*), причиною чого є скорочення витрат повітря  $G_{п}$  на 3,5...5,4% (для UGT10000 і UGT16000 відповідно), обумовлене зменшенням густини повітря з підвищенням температури повітря на вході  $t_{н}$  (рис. 12.5) [16].

В установках автономного енергозабезпечення значного поширення набули ГТД малої потужності (до 300 кВт), з яких набираються енергоустановки досить великої потужності (понад 1 МВт) і які в закордонних дослідженнях відносять до класу мікротурбін (МТ). З підвищенням температури повітря  $t_{нв}$  на вході компресора термодинамічна

ефективність мікротурбін погіршується: ККД і потужність  $N_e$  знижуються, питома витрата палива  $b_e$  зростає, що обумовлене зменшенням густини повітря (масової витрати робочого тіла) та збільшенням питомої (на одиницю витрати повітря) роботи стискання компресора. Так, з підвищенням  $t_{\text{вв}}$  на  $10^\circ\text{C}$  ефективний коефіцієнт корисної дії  $\eta_e$  регенеративної мікротурбіни "Ingersoll Rand" GT250 ("FlexEnergy", MT250) знижується на  $3\dots4\%$  (у відносних величинах порівняно з  $t_{\text{вв}} = 15^\circ\text{C}$ ), а питома витрата палива  $b_e$  відповідно зростає і її зростання в абсолютних величинах становить приблизно  $\Delta b_e \approx 7 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ . При цьому потужність  $N_e$  зменшується у відносних величинах (порівняно з  $t_{\text{вв}} = 15^\circ\text{C}$ ) на  $8\dots10\%$  (рис. 12.6) [17, 18].

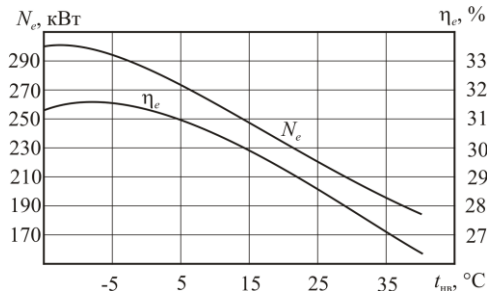


Рис. 12.6. Залежності ефективних коефіцієнта корисної дії  $\eta_e$  та потужності  $N_e$  регенеративної мікротурбіни "Ingersoll Rand" GT250 ("FlexEnergy" MT250) від температури повітря на вході  $t_{\text{вв}}$

Дані виробників мікротурбін щодо зміни потужності  $N_e$  та питомої витрати палива  $b_e$  в залежності від температури повітря  $t_{\text{вв}}$  на вході ГТД Capstone C200 [19] наведені на рис. 12.7.

Про зростання потужності  $\Delta N_e / N_{e\text{ISO}} / \Delta t$ , зменшення питомої витрати палива  $\Delta b_e / \Delta t$  і збільшення ККД  $\eta_e / \Delta t$  при охолодженні повітря на вході на  $\Delta t = 1^\circ\text{C}$  для ГТД різної потужності  $N_e$  можна тлумачити по узагальнюючим кліматичним характеристикам на рис. 12.8 [6, 17–19].

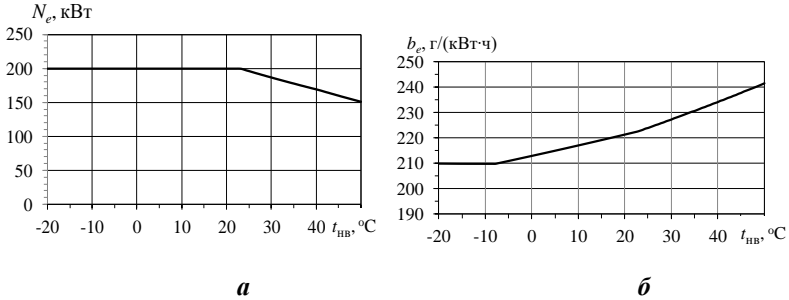


Рис. 12.7. Зміна потужності  $N_e$  (а) і питомої витрати палива  $b_e$  (б) в залежності від температури повітря  $t_{\text{вв}}$  на вході Capstone C200

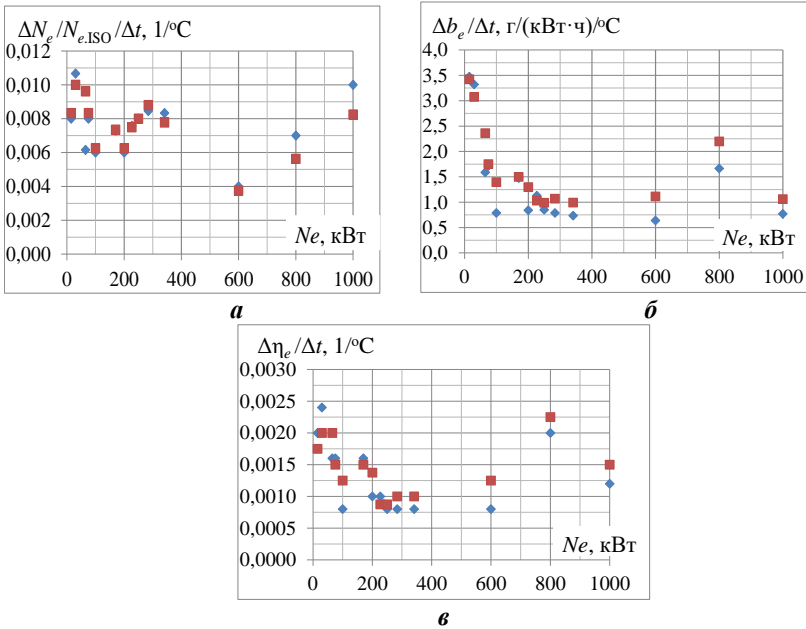


Рис. 12.8. Зміна потужності  $\Delta N_e / N_{e,ISO} / \Delta t$  (а), питомої витрати палива  $\Delta b_e / \Delta t$  (б) і ККД  $\eta_e / \Delta t$  (в) при зміні температури повітря  $\Delta t$  на вході на 1 °C для ГТД різної потужності  $N_e$

Отже, охолодження повітря на вході базових теплових двигунів установок комбінованого виробництва енергії, тепла та холоду забезпечує високі термодинамічну і паливну ефективність двигунів, стабіль-

зацію електричної потужності при найбільш несприятливих кліматичних умовах – високих температурах зовнішнього повітря на вході.

### **12.3. Аналіз сучасних тригенераційних технологій та визначення перспективних напрямів комбінованого енерго-, тепло- та холодозабезпечення з внутрішньоцикловою тригенерацією**

Оскільки з підвищенням температури повітря на вході термодинамічна ефективність теплових двигунів і, відповідно, установок комбінованого енерго-, тепло- та холодозабезпечення в цілому знижується, то відновлення раціональних параметрів повітря на вході шляхом його охолодження дає можливість підтримувати їх високу паливну економічність і потужність при підвищених температурах повітря.

Найбільше поширення в ГТД отримало випарне охолодження повітря, при якому воду під високим тиском (40...200 бар) упорскують форсунками тонкого розпилу в повітряний потік на вході компресора ГТД [14, 15]. Залежно від кількості упорскуюваної води можливі два варіанти випарного охолодження повітря: попереднє випарне охолодження (evaporative inlet air cooling) з випаровуванням всієї упорскненої води за рахунок відведення теплоти від зовнішнього повітря до його всмоктування компресором (як правило, зі зволоженням повітря до стану насичення) і внутрішнє випарне охолодження (evaporative internal air cooling) з випаровуванням надлишкової вологи (overfeeding fogging або high fogging) уже в процесі підвищення тиску і відповідно температури повітря в компресорі.

Однак потенційна глибина охолодження зовнішнього повітря при випарному способі обмежена його температурою в насиченому стані, тобто температурою повітря по мокрому термометру, яка залежить від його відносної вологості. Шляхом випарного охолодження температуру зовнішнього повітря можна знизити не більше ніж на 10...15 °С. Мінімальну температуру зовнішнього повітря, при якій доцільне випарне охолодження, зазвичай рекомендується приймати не нижче 15 °С [15].

Для більш глибокого охолодження повітря на вході енергоустановок, а також у разі підвищеної його вологості вдаються до охолодження повітря в теплообмінних апаратах (ТОА) поверхневого типу із застосуванням холодильних машин. Низькі ККД ГТД,  $\eta = 0,22...0,37$ , свідчать про великі втрати теплоти з відпрацьованими газами і, отже, про значні резерви її утилізації, зокрема, тепловикористовуючими

холодильними машинами (ТХМ). В якості ТХМ застосовуються абсорбційні водоаміачні (ВАХМ) [8, 9] і бромистолітієві (АБХМ) [5, 7] холодильні машини, а також ежекторні (ЕХМ) [10–12, 20, 21], в яких холодоагентами є відповідно аміак (ВАХМ), вода, що кипить під вакуумом (АБХМ), і озонобезпечні хладони R142В і R600 (ЕХМ).

Кількість холоду (холодопродуктивність)  $Q_0$ , яку можна отримати трансформацією теплоти відпрацьованих газів  $Q_r$ , залежить від ефективності ТХМ, що характеризується тепловим коефіцієнтом  $\zeta = Q_0 / Q_r$ , який являє собою відношення холодопродуктивності  $Q_0$  (кількості теплоти, відведеної від зовнішнього повітря на вході теплового двигуна) до кількості теплоти  $Q_r$ , підведеної до ТХМ від відпрацьованих газів тощо. Значення  $\zeta$  залежно від типу і режимних параметрів ТХМ можуть змінюватися від 0,20...0,35 для конструктивно найбільш простих ежекторних ЕХМ до 0,7...0,8 для АБХМ.

Глибоке охолодження циклового повітря на вході двигунів можна здійснити, використовуючи в ТХМ низькокиплячі робочі тіла (НРТ), або хладони (R142В і R600 та інші).

Результати досліджень застосування для охолодження води, що упорскується безпосередньо в повітряний потік або подається в поверхневий охолоджувач (контактного – плівкового типу) повітря на вході в компресор, абсорбційної бромистолітієвої холодильної машини (АБХМ), що використовує теплоту відпрацьованих газів ГТД, наведено в [22].

В роботі [9] проаналізовано ефективність непрямого (як альтернативи випарного) попереднього охолодження зовнішнього повітря на вході ГТД за допомогою абсорбційної водоаміачної холодильної машини (ВАХМ). Показано, що застосування ВАХМ для охолодження повітря від середньорічної температури 28...30 °С до 7 °С в ГТД LM2500+ ( $N_e = 27$  МВт) і LM1600 ( $N_e = 15$  МВт) фірми "General Electric" (ГТД призначені для вироблення електроенергії, а кліматичні умови відповідають центральному Оману) забезпечує підвищення електричної потужності на 20 і 14 % відповідно (ГТД LM2500+ і LM1600). При розрахунках приймалися параметри циклу ВАХМ: температури кипіння аміаку у випарнику-повітроохолоджувачі  $t_0 = 1$  °С, в генераторі пароподібного аміаку  $t_r = 135$  °С, в конденсаторі  $t_k = 35$  °С, чому відповідає тепловий коефіцієнт  $\zeta = 0,4$ . Розрахунки показали, що витрати теплоти на роботу ВАХМ при максимальному навантаженні ( $t_{нв} = 45$  °С) не перевищують 25 % наявного теплоперепаду відпрацьованих газів.

В роботі [23] проаналізовано ефективність непрямого попереднього охолодження зовнішнього повітря на вході ГТД за допомогою

парокомпресорної холодильної машини (ПКХМ) розсільного типу, яка споживає електроенергію при позапікових навантаженнях на турбогенератор (ТГ) для виробництва льоду, що накопичується в акумуляторах. При пікових навантаженнях на ТГ холодна вода, яка утворюється в результаті танення льоду, використовується як холодоносії в поверхневому охолоджувачі повітря на вході ГТД (до температури  $t_{b2} = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$  з підвищенням відносної вологості повітря до 0,9). Теплота відхідних газів ГТД утилізується в пароводяному УК, а теплота генерованої пари використовується в АБХМ для системи комфортного кондиціонування.

В роботі [6] проаналізовано ефективність застосування тригенерації в газових мікротурбогенераторах (МТГ) з регенерацією теплоти відпрацьованих газів: Capstone (електрична потужність  $N_e = 25,6\text{ кВт}$ ), Turbec T100 ( $N_e = 100\text{ кВт}$ ) і перспективному японському турбогенераторі (ТГ) GGT301-302 з осровою турбіною з кераміки – нітриду силікону  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ( $N_e = 300\text{ кВт}$ ). Тригенераційний контур включав АБХМ, що використовує пару від утилізаційного котла (УК), і ПКХМ з електроприводом, що працює в режимі охолодження (влітку) і теплового насоса (взимку). Холод використовувався для кондиціонування житлових приміщень. Показано, що застосування тригенерації дозволяє підвищити коефіцієнт використання первинного палива на 3...15 % (20 % для ГТД з кераміки при температурі газів після УК  $t_{b,r} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Менші величини відносяться до температури відхідних газів після УК  $t_{b,r} = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  для нагріву води, теплота якої використовується в АБХМ (влітку при підвищених  $t_{hb}$ ), а великі – при  $t_{y,r} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (взимку).

Глибина охолодження повітря тепловикористовуючими холодильними машинами (ТХМ) – термотрансформаторами, що утилізують скидну теплоту, обмежується температурою  $t_x$  (холодоносія), який подається в повітроохолоджувач на вході двигунів. Так, при застосуванні як холодоносія озонобезпечних хладонів R142B і R600 (ежекторні ЕХМ) або аміаку (абсорбційні водоаміачні ВАХМ) повітря може бути охоложене до температури  $t_{b2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і нижче ( $t_x = 2...3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а в разі застосування як холодоносія води (абсорбційні бромистолітєві АБХМ) температура охолодженого повітря  $t_{b2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при  $t_x \approx 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Відомі концепції підвищення ефективності тригенераційних установок комбінованого виробництва електроенергії, тепла та холоду обмежуються вирішенням кола завдань, що відносяться до позациклового (для зовнішніх споживачів, а не самих базових двигунів енергоустановок) використання холоду [5, 6], і в силу цього не дозволяють виявити і реалізувати додаткові резерви, пов'язані з трансформацією скидної теплоти в циклі самих енергоустановок.

При підвищених температурах зовнішнього повітря і відповідно повітря на вході двигунів установок комбінованого виробництва енергії (електричної або механічної), теплоти та холоду їх термодинамічна ефективність знижується і відповідно збільшується споживання палива. Задовольнити підвищені потреби в холоді енергетичного (для охолодження повітря двигунів енергетичних установок) і технологічного призначення, зокрема, на потреби переробних харчових виробництв і кондиціонування повітря, можна застосуванням інноваційних технологій трансформації теплоти в холод, які, з одного боку, забезпечують глибоке (до  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і нижче) охолодження циклового повітря двигунів задля скорочення витрат палива і збільшення виробництва електричної/механічної енергії, а з іншого боку, максимальне виробництво холоду з наявної скидної теплоти.

Авторами запропонована система двоступінчатого охолодження повітря на вході ГТУ абсорбційно-ежекторною холодильною машиною (АЕХМ) з бустерним високотемпературним ступенем ПО<sub>ВТ</sub> попереднього охолодження холодною водою від АБХМ та низькотемпературним хладоновим ступенем ПО<sub>НТ</sub> глибокого охолодження повітря в ЕХМ (рис. 12.9) [20, 21, 24].

Застосування ступінчастої абсорбційно-ежекторної холодильної машини (АЕХМ), що поєднує високу ефективність трансформації теплоти в холод в АБХМ при зниженні температура повітря до  $t_{\text{B}2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при  $t_{\text{x}} \approx 7\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $\zeta = 0,7 \dots 0,8$ ) з глибоким охолодженням повітря до низької температури  $t_{\text{B}2} = 7 \dots 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в менш ефективних ЕХМ ( $\zeta = 0,2 \dots 0,3$ ), забезпечує зменшення витрат теплоти  $Q_{\text{r}} = Q_0 / \zeta$ , що особливо важливо в умовах обмеженого скидного теплового потенціалу, зокрема відпрацьованих газів регенеративних ГТУ.

Поточні значення зниження температури повітря  $\Delta t$  в результаті його охолодження від поточної зовнішньої температури  $t_{\text{нв}}$  до кінцевої  $t_{\text{B}2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в АЕХМ), до  $t_{\text{B}2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в АБХМ) і до  $t_{\text{B}2} = t_{\text{м}}$  при випарному охолодженні повітря, а також відповідні поточні значення зменшення питомої витрати палива  $\Delta b_{\text{e}10}$ ,  $\Delta b_{\text{e}15}$  і  $\Delta b_{\text{eм}}$  упродовж липня 2009 р. (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.) наведено на рис. 3.10. Прийнято  $\Delta b_{\text{e}} / \Delta t_{\text{B}} = 0,7\text{ г} / (\text{кВт} \cdot \text{год} \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Як видно з рис. 12.10, зниження температури повітря  $\Delta t_{10}$  на вході ГТУ в хладонових повітроохолоджувачах (в ЕХМ) і відповідно зменшення питомої витрати палива  $\Delta b_{\text{e}10}$  в 2 рази більше порівняно з охолодженням на величину  $\Delta t_{15}$  в АБХМ і відповідним зменшенням питомої витрати палива  $\Delta b_{\text{e}15}$ .



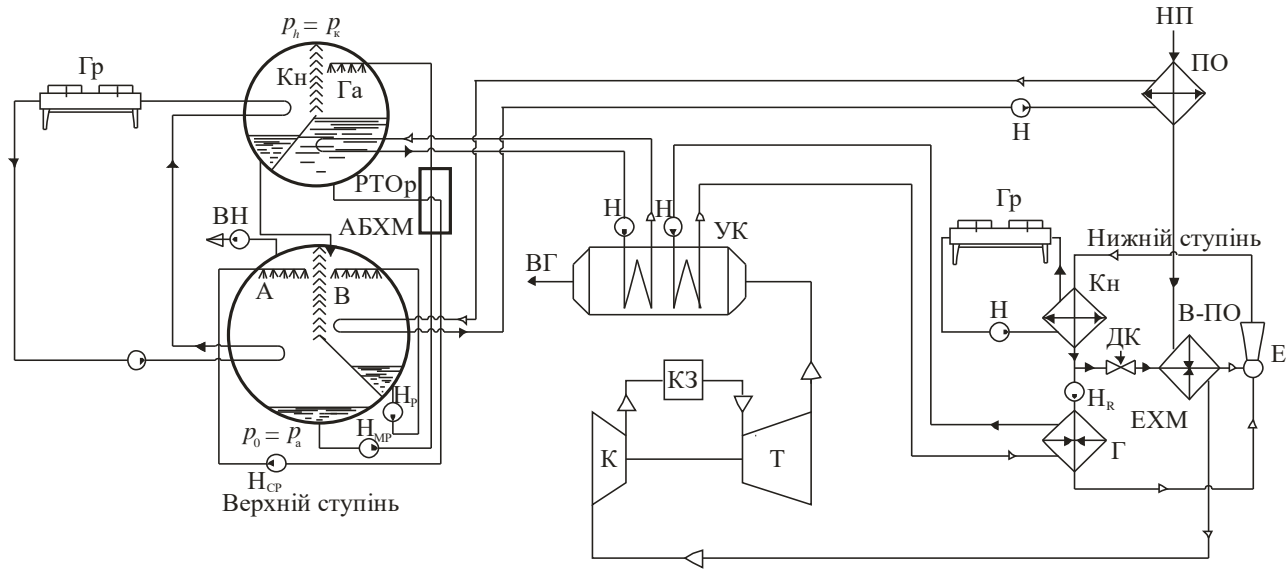


Рис. 12.9. Схема системи двоступінчатого охолодження повітря на вході ГТУ послідовно холодною водою з температурою  $t_x = 7^\circ\text{C}$  від АБХМ та киплячим НРТ (при  $t_0 = 2\dots 5^\circ\text{C}$ ) від ЕХМ комбінованої абсорбційно-ежекторної холодильної машини (АЕХМ): К – компресор; Т – турбіна; КЗ – камера згоряння; УК – утилізаційний котел; ПО – повітроохолоджувач; Н – насос; Гр – градирня; НП – навколишнє повітря; АБХМ: Га – генератор (десорбер); Кн – конденсатор; А – абсорбер; В – випарник; РТО<sub>р</sub> – регенеративний теплообмінник розчинів; Н<sub>сп</sub> – насос слабкого розчину; Н<sub>мр</sub> – насос міцного розчину; Н<sub>р</sub> – рециркуляційний водяний насос; Вн – вакуумний насос; Гр – градирня; ЕХМ: Е – ежектор; ДК – дросельний клапан; В-ПО – випарник хладону-повітроохолоджувач; Кн – конденсатор хладону; Н – насос; Г – генератор пароподібного хладону

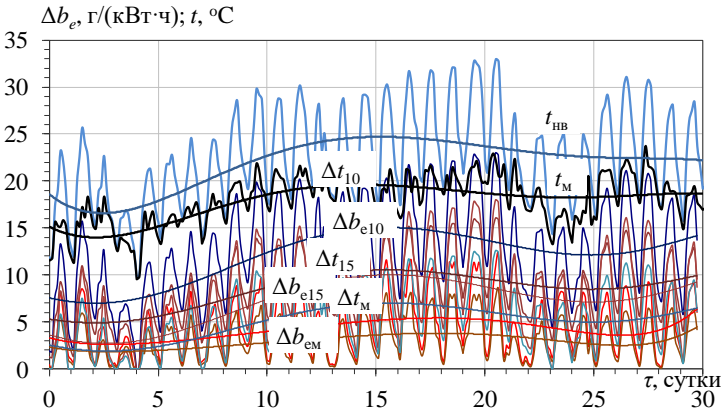


Рис. 12.10. Поточні значення зниження температури повітря  $\Delta t$  в  $t_{\text{нв}}$  до кінцевої  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  (в АЕХМ), до  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  (в АБХМ) і до  $t_{\text{в2}} = t_{\text{м}}$  при випарному охолодженні повітря, а також відповідні поточні значення зменшення питомої витрати палива  $\Delta b_{e10}$ ,  $\Delta b_{e15}$  і  $\Delta b_{em}$  упродовж липня 2009 р. (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.)

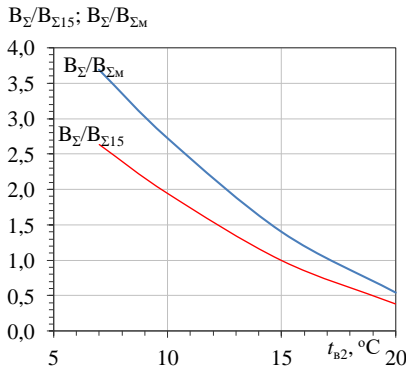


Рис. 12.11. Значення річної економії палива за рахунок охолодження повітря на вході ГТУ від поточної зовнішньої температури до кінцевих температур  $t_{\text{в2}}$  у відносних величинах  $V_{\Sigma}/V_{\Sigma15}$  порівняно з охолодженням до  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  (в АБХМ) і  $V_{\Sigma}/V_{\Sigma\text{м}}$  порівняно з випарним охолодженням повітря за 2009 р. (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.):  $V_{\Sigma}$  – річна економія палива при охолодженні повітря на вході ГТУ до температури  $t_{\text{в2}}$ ;  $V_{\Sigma15}$  – охолодження повітря до  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  в АБХМ;  $V_{\Sigma\text{м}}$  – випарне охолодження повітря до  $t_{\text{м}}$

На рис. 12.11 наведені значення річної економії палива за рахунок охолодження повітря на вході ГТУ ( $N_e = 10$  МВт) від поточної зовнішньої температури до кінцевих температур  $t_{b2}$  у відносних величинах  $V_{\Sigma}/V_{\Sigma 15}$  порівняно з охолодженням до  $t_{b2} = 15$  °С (в АБХМ) і  $V_{\Sigma}/V_{\Sigma M}$  порівняно з випарним охолодженням повітря за 2009 р. для кліматичних умов м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.

Як видно з рис. 3.11, річна економія палива за рахунок глибокого охолодження повітря на вході ГТУ до температури  $t_{b2} = 10$  °С (в АЕХМ) практично вдвічі більше порівняно з охолодженням до  $t_{b2} = 15$  °С (в АБХМ):  $V_{\Sigma}/V_{\Sigma 15} = 2$  при  $t_{b2} = 10$  °С, й у 2,7 рази більше порівняно з випарним охолодженням повітря до температури мокрого термометра  $t_m$  за 2009 р. для кліматичних умов м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.

### Висновки

1. Наведено кліматичні характеристики ГТД і ДВЗ фірм-розробників, за результатами аналізу яких обґрунтовано гіпотезу внутрішньоциклової тригенерації з охолодженням циклового повітря на вході двигунів шляхом трансформації в холод скидної теплоти, тобто з використанням отриманого холоду в робочому циклі самих двигунів, що забезпечує підвищення паливної ефективності та потужності двигунів.

2. Обґрунтовано підхід до використання скидного теплового потенціалу установок комбінованого виробництва енергії (електричної або механічної), теплоти та холоду шляхом внутрішньоциклової його трансформації з охолодженням циклового повітря базових теплових двигунів, яка забезпечує скорочення споживання палива та збільшення вироблення основного виду енергії (електричної або механічної) при найбільш несприятливих у тепловому відношенні умовах експлуатації (високих температурах повітря на вході) та ефективне використання тригенераційної технології навіть за відсутності зовнішніх споживачів холоду або періодичного його споживання в технологічних процесах переробних виробництв.

3. Визначено пріоритетний напрям внутрішньоциклової низькотемпературної тригенерації з глибоким (до температури 10 °С і нижче) охолодженням циклового повітря на вході теплових двигунів, який забезпечує у 1,5...2,0 рази більшу економію палива при експлуатації в умовах помірного клімату України порівняно з існуючими напрямками внутрішньоциклової тригенерації з охолодженням циклового повітря теплових двигунів до помірних температур 15...20 °С шляхом транс-

формації скидної теплоти в абсорбційних бромистолітєвих холодильних машинах (АБХМ).

4. Вперше запропонована двоступінчаста абсорбційно-ежекторна трансформація теплоти в холод, яка поєднує високу ефективність трансформації теплоти в холод в АБХМ (при охолодженні повітря до  $t_{в2} = 15...20$  °С при  $\zeta = 0,7...0,8$ ) з глибоким охолодженням повітря до низької температури  $t_{в2} = 7...10$  °С в менш ефективних ЕХМ ( $\zeta = 0,2...0,3$ ) та забезпечує зменшення витрат теплоти  $Q_r = Q_0 / \zeta$ , що особливо важливо в умовах обмеженого скидного теплового потенціалу, зокрема відпрацьованих газів регенеративних ГТУ, при одночасному споживанні холоду технологічними виробництвами або, навпаки, за відсутності зовнішніх споживачів холоду.

Пища, наряду с кислородом – важнейший биологический фактор жизнеобеспечения организма, его роста, сохранения здоровья, высокой работоспособности всех возрастных категорий населения, профилактики преждевременного старения, предупреждения возникновения, развития и успешного лечения болезней [1, 3, 4].

Современная цивилизация ставит перед человеком проблемы, связанные с высоким психическим и нервным напряжением. Угрожающая экологическая обстановка, стрессы, нервные перегрузки, неактивный образ жизни, бессонные ночи, неправильное питание – все это несет в себе угрозу жизням миллионов людей по всему миру.

Прежде всего пища определяет важнейшие физиологические процессы поддержания целостности ткани и регулирует биохимические механизмы обмена веществ, являясь главной детерминантой роста и развития. В свою очередь вышеупомянутое влияет на человека как на представителя общества.

Обеспечение достаточным количеством продуктов питания не единственная проблема стоящая перед человечеством, существуют и другие – рафинация продуктов (потеря многих полезных веществ), современные пищевые продукты могут содержать многочисленные ксенобиотики (пестициды, металлоорганические соединения, радионуклеиды, микотоксины, гормоноподобные вещества и др.), которые попадают в пищевой продукт из загрязненной окружающей среды или воспользованы человеком для стимуляции роста растений и животных [9, 15].

### **Список використаних джерел**

1. Долинский А.А. Анализ энергетической эффективности когенерационных схем [текст] / А.А. Долинский, Б.И. Басок, Д.А. Коломейко // Техногенна

безпека: Наукові праці МДГУ ім. П.Могили. – Миколаїв: МДГУ. – 2006. – Т. 49. – Вип. 36. – С. 65–67.

2. Долинский А.А. Эффективность когенерационных тепловых схем [текст] / А.А. Долинский, Б.И. Басок, Д.А. Коломейко // Техногенна безпека: Наукові праці МДГУ ім. П.Могили. – Миколаїв: МДГУ. – 2007. – Т. 61. – Вип. 48. – С. 30–38.

3. Радченко, Р.Н. Энергоресурсосберегающая внутрицикловая тригенерация в газотурбинных установках компрессорных станций [текст] / Р.Н. Радченко, Н.И. Радченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 10(87). – С. 98–103.

4. Радченко Н.И. Судовые дизельные установки тригенерационного типа [текст] / Н.И. Радченко, А.А. Сирота, Т. Бес // Зб. наук. праць Національного університету кораблебудування. – 2008. – Вип. 3 (420). – С. 76–84

5. GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype [Text] / G. Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.

6. Campanary S. Technical and tariff scenarios effect on microturbine tri-generative applications [Text]/S. Campanary, E. Macchi// Proceedings of ASME TURBO EXPO 2003.–Paper GT-2003-38275.–10 p.

7. Тригенерация в энергетическом треугольнике [Електронний ресурс] / Режм доступу: <http://www.daichi.ua/press/publications/news-709.php>; <http://ddugroup.ua/press/publications/news-709.php>

8. Bassols J., Kuckelkorn B., Langreck J. et al. Trigeneration in the food industry // Applied Thermal Engineering. – 2002. – Vol. 22. – P. 595–602.

9. Bortmany J.N. Assesmtent of aqua-ammonia refrigeration for pre-cooling gas turbine inlet air [Text] / J.N. Bortmany // Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002. – Paper GT-2002-30657. – 12 p.

10. Radchenko, A. Investigation of regenerative gas turbine intake air cooling and comfort air conditioning in climatic conditions of Libya/ A. Radchenko, Ramzi Kamel El Gerbi // Proceedings of the 16 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE–2016. – Szczecin, Poland. – 2016. – P. 373–381.

11. Radchenko, A.M. Cooling cyclic intake air and charged gas-air mixture in gas engine of plant for combined energy supply [Text] / A.M. Radchenko, A.V. Konovalov // Proceedings of the 14 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE–2012. – Szczecin, Poland. – 2012. – P. 497–502.

12. Радченко, А.Н. Исследование охлаждения воздуха в тригенерационных комплексах автономного энергообеспечения в тропических условиях [Текст] / А.Н. Радченко, Рамзи Камел Эл Герби //Зб. наук. праць НУК. – 2015. – Вип. № 6 (462). – С. 70–76.

13. Радченко А.М. Турбодетандерна система охолодження судового електрогенератора та повітря на вході приводного дизеля // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: ОНАХТ. – 2011.– Вип.39. – Т.1. – С. 46–49.

14. Bhargava R. Parametric analysis of existing gas turbines with inlet evaporative and overspray fogging / R. Bhargava, C.B. Meher-Homji // *Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002.*—Paper GT-2002-30560.— 15 p.

15. Chaker M. Inlet fogging of gas turbine engines: Climatic analysis of gas turbine evaporative cooling potential of international locations [Text] / M. Chaker, C.B. Meher-Homji // *Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002.* — Paper GT-2002-30559. — 16 p.

16. Газотурбинные электростанции. — Николаев: ГП НПКГ "Заря"—"Машипроект", 2007. — 16 с.

17. Ingersoll Rand. *Energy Systems. Microturbine product and benefits.* — 2011. — 24 p.

18. Микротурбины FlexEnergy.— 58 с. <http://dg-company.ru/wp-content/uploads/2013/12/flexenergy-microturbines-info.pdf>

19. Автономные энергосистемы. *Microturbines Capstone, OPRA.* — 2011. — 16 с.

20. Радченко, А.Н. Методологический подход к рациональному проектированию комбинированной теплоиспользующей системы охлаждения воздуха на входе газотурбинной установки [Текст] / А.Н. Радченко, С.А. Кантор. // *Авиационно-космическая техника и технология.* — 2015. — № 4(121). — С. 76–79.

21. Радченко, А.Н. Методологический подход к выбору тепловой нагрузки комбинированной системы охлаждения воздуха на входе ГТУ [Текст] / А.Н. Радченко, Н.И. Радченко, С.А. Кантор, Б.С. Портной // *Авиационно-космическая техника и технология.* — 2016. — № 6(133). — С. 55–59

22. Nixdorf M. Thermo-economic analysis of inlet air conditioning methods of a cogeneration gas turbine plant [Text] / M. Nixdorf, A. Prelipceanu, D. Hein // *Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002.* — Paper GT-2002-30561. — 10 p.

23. Yokoyama, R. Effect of inlet air cooling by ice storage on unite sizing of a gas turbine cogeneration plant [Text] / R. Yokoyama, K. Ito // *Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002.*— Paper GT-2002-30484.— 8 p.

24. Radchenko, A. Increasing the efficiency of gas turbine intake air cooling in temperate climate by hybrid waste heat recovery chiller/ A. Radchenko // *Proceedings of the 16 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE–2016.* — Szczecin, Poland. — 2016. — P. 363–371.

## Розділ 13/Chapter 13

# Методологія термочасового потенціалу охолодження для аналізу ефективності внутрішньоциклової тригенерації

А.М. Радченко

## Methodology of thermohour cooling potential for the analysis of in-cycle trigeneration efficiency

Andrii Radchenko\*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

---

**Abstract:** A method of analysis of the efficiency of combustion engine (gas turbine and internal combustion engine) cyclic air cooling by waste heat recovery chillers has been proposed. The method is based upon thermohour potential of engine intake cyclic air cooling that depends on climate conditions of performance and a type of chiller. The feature of the method of thermoeconomical analysis with the use of thermohour cooling potential, that considers a temperature and time factors, is the possibility to determine a rational type and cooling capacity of waste heat recovery chiller applied, that provides achieving the maximal effect in site climate conditions of engine performance.

**Keywords:** *thermohour cooling potential, temperature, hour, climate, air cooling, waste heat recovery chiller, cooling capacity, combustion engine*

---

---

\* Corresponding author e-mail: [andrad69@mail.ru](mailto:andrad69@mail.ru)

## Зміст

### Вступ

*13.1. Основні положення методу визначення потенціалу охолодження циклового повітря на вході двигунів енергоустановок відповідно до кліматичних умов експлуатації*

*13.2. Визначення типу і встановленої холодопродуктивності термотрансформаторів охолодження циклового повітря на вході двигунів з урахуванням кліматичних умов експлуатації на основі термочасового потенціалу*

*13.3. Оцінка паливної ефективності двигунів з охолодженням циклового повітря на вході на основі термочасового потенціалу*

*13.4. Оцінка ефективності виробництва електричної енергії двигунами-генераторами з охолодженням циклового повітря на вході на основі термочасового потенціалу*

*13.5. Оцінка витрат холоду на внутрішньоциклову тригенерацію на основі термочасового потенціалу охолодження повітря на вході двигунів*

### Висновки

### Список використаних джерел

## Вступ

Ефективність енергоустановок на базі теплових двигунів – газотурбінних (ГТД) і двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) включно з газовими двигунами (ГД) – суттєво залежить від температури зовнішнього повітря  $t_{\text{нв}}$  на вході. Так, за даними [1, 2] кожні 10 °С збільшення температури повітря  $t_{\text{нв}}$  на вході ГТД порівняно з  $t_{\text{нв}} = 15$  °С (ISO 3977) призводять до зменшення потужності  $N_e$  на 5...9 % та зростання питомої витрати палива  $b_e$  на 3,5...7 г/(кВт·год.). Погіршується паливна ефективність і вітчизняних ГТД виробництва ДП НВКГ "Зоря-Машпроект": питома витрата палива  $b_e$  зростає на 5...8 г/(кВт·год.), а потужність  $N_e$  падає на 5...10 % на кожні 10 °С підвищення температури повітря  $t_{\text{нв}}$  на вході [3]. Суттєво погіршуються показники ефективності ГТД малої потужності (до 300 кВт) регенеративного типу, які широко застосовуються в установках автономного енергозабезпечення. Так, з підвищенням  $t_{\text{нв}}$  на вході регенеративних ГТД "FlexEnergy" типу MT250 [4] і Capstone C200 [5] на 10 °С питома витрата палива  $b_e$  зростає на величину  $\Delta b_e \approx 7$  г/(кВт·год), а електрична потужність  $N_e$  зменшується на 8...10 %.



Оскільки скидний тепловий потенціал двигунів доволі високий: температура відпрацьованих газів ГТД простого циклу  $t_{вг} = 450...550$  °С, а ГТД регенеративного типу  $t_{вг} = 250...300$  °С, то його доцільно трансформувати в холод, а останній використовувати для охолодження повітря на вході двигунів з метою покращення їх термодинамічної ефективності, тобто застосовувати внутрішньоциклову тригенерацію [6–13].

Ефект від охолодження повітря на вході двигунів енергоустановок у вигляді скорочення споживання палива і зростання потужності (виробництва електроенергії) практично прямопропорційний зниженню температури повітря  $\Delta t_b = t_{нв} - t_{в2}$ , тобто термічний (температурний) складовий термочасового потенціалу охолодження, і тривалості  $\tau$  експлуатації двигуна (часовій складовій) термочасового потенціалу охолодження. Отже визначення потенційно можливого зниження температури повітря  $\Delta t_b$  і його тривалості, тобто термочасового потенціалу охолодження як інтегрального показника оцінки ефективності застосування охолодження повітря, має бути першим кроком при аналізі взагалі доцільності охолодження повітря на вході теплового двигуна в конкретних кліматичних умовах експлуатації.

Зниження температури повітря  $\Delta t_b = t_{нв} - t_{в2}$  на вході двигуна визначається поточною температурою повітря  $t_{нв}$  (кліматичний фактор) та глибиною охолодження, тобто мінімальною температурою охолодженого повітря  $t_{в2}$ , яка в свою чергу залежить від температури холодоносія  $t_x$ , а та – від типу ТХМ. При цьому чим нижче температура охолодженого повітря  $t_{в2}$ , тим більше тривалість експлуатації двигуна при цій  $t_{в2}$  упродовж року. Таким чином, тип ТХМ (температура холодоносія  $t_x$ ) визначає глибину охолодження  $t_{в2}$ , а відтак і зниження температури повітря  $\Delta t_b$ , тобто потенціал охолодження повітря на вході теплового двигуна і отримуваний від нього ефект. Окрім того, ТХМ повинна забезпечити ефективну трансформацію наявної скидної теплоти в холод (з достатньо високим тепловим коефіцієнтом  $\zeta$ ), а встановлена (проектна) холодопродуктивність ТХМ – повну реалізацію потенціалу охолодження.

Знаючи скорочення питомого споживання палива  $\Delta b_e$  і зростання потужності двигуна  $\Delta N_e$ , що припадають на 1 °С зниження температури повітря на вході двигуна  $\Delta t_b$ , легко перейти від термочасового потенціалу охолодження до технічних показників ( $b_e$  і  $N_e$ ) та економічного показника – вартості зекономленого палива і додатково виробленої електричної (механічної) енергії.

Мета дослідження – розробити метод термoeкономічного аналізу ефективності застосування охолодження повітря на вході теплового

двигуна, який базується на термочасовому потенціалі охолодження, що враховує зміну кліматичних умов в процесі експлуатації, і дозволяє визначати тип і встановлену (проектну) холодопродуктивність ТХМ.

### 13.1. Основні положення методу визначення потенціалу охолодження циклового повітря на вході двигунів енергоустановок відповідно до кліматичних умов експлуатації

Для оцінки поточного (годинного) потенціалу  $\Pi$  охолодження повітря на вході двигуна доцільно використовувати такий простий показник, як зниження температури повітря  $\Delta t_b$  від поточної зовнішньої температури  $t_{\text{нв}}$  до кінцевої  $t_{\text{в2}}$  протягом 1 години, тобто  $\Pi = \Delta t_b \tau$ ,  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{год.}$ , де  $\tau = 1$  год. Тоді термочасовий потенціал охолодження повітря на вході ГТД сумарний – за будь-який період часу  $\tau$  (місяць, рік) – являє собою суму добутків:  $\Pi = \Sigma(\Delta t_b \tau)$ ,  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{год.}$

Потенціал охолодження (еквівалентні градуси-години охолодження – Equivalent Cooling Degree Hours "ECDH") був запропонований в роботі [14]. При цьому його застосування обмежувалося оцінкою потенціалу охолодження повітря на вході ГТД його зволоженням до стану насичення (до температури повітря по мокрому термометру  $t_m$ ). Проте використання термочасового потенціалу відкриває набагато ширші можливості не тільки для оцінки власне потенціалу охолодження повітря на вході двигунів в різних кліматичних умовах експлуатації за певний час, наприклад, за рік, але дає можливість вибору раціонального типу та встановленої (проектної) холодопродуктивності ТХМ, які забезпечують максимальні значення термочасового потенціалу, а відтак і ефекту від охолодження у вигляді скорочення витрат палива та збільшення потужності енергоустановки (виробництва електричної/механічної енергії), що і було покладено в основу запропонованої методології.

Так, в абсорбційних бромістолітєвих холодильних машинах (АБХМ) можливе охолодження повітря до  $t_{\text{в2}} = 12...15^{\circ}\text{C}$  ( $t_x = 7...10^{\circ}\text{C}$ ), в абсорбційних водоаміачних (ВАХМ) або ежекторних хладонових (ЕХМ) холодильних машинах – до більш низьких  $t_{\text{в2}} = 7...10^{\circ}\text{C}$  ( $t_x = 2...5^{\circ}\text{C}$ ) і нижче.

При експлуатації двигунів мають місце як сезонні, так і добові зміни тепловологісних параметрів зовнішнього повітря. На рис. 13.1 наведена зміна температури  $t_{\text{нв}}$ , відносної вологості  $\phi$  і вологовмісту  $d$  зовнішнього повітря протягом липня 2009 року для кліматичних умов

м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл., де розташована Південно-Бузька газотурбінна компресорна станція (КС).

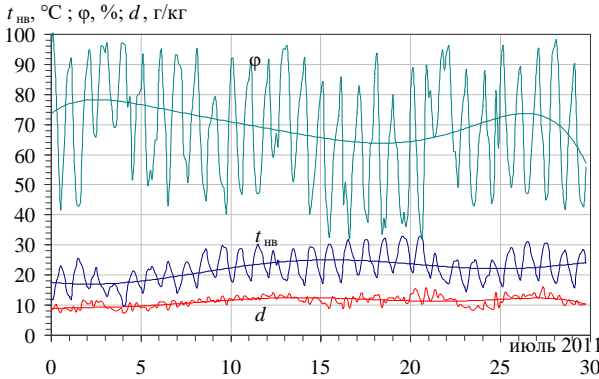


Рис.13.1. Зміна температури  $t_{нв}$ , відносної вологості  $\phi$  та вологовмісту  $d$  зовнішнього повітря протягом липня 2009 року

Значення зниження температури повітря  $\Delta t = t_{нв} - t_{в2}$  від поточної зовнішньої температури  $t_{нв}$  до кінцевої  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $15^\circ\text{C}$  (АБХМ), поточного погодинного термочасового потенціалу охолодження повітря на вході двигуна,  $\Pi = \Delta t_{в} \tau$ ,  $^\circ\text{C}\cdot\text{год.}$ , де  $\tau = 1$  год., сумарного (за нарощуванням) потенціалу охолодження,  $\Pi = \Sigma(\Delta t_{в} \tau)$ , для кліматичних умов експлуатації ГТД Південно-Бузької компресорної станції (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.) упродовж доби (7.07.2009) наведено на рис. 13.2.

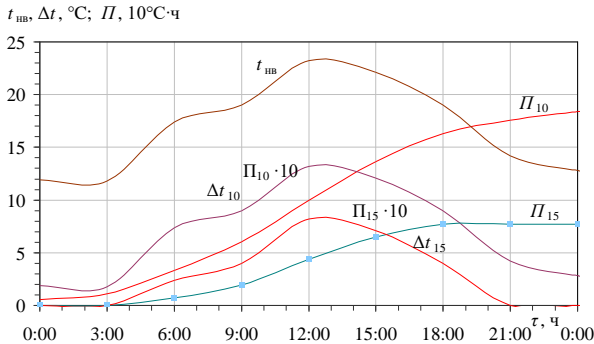
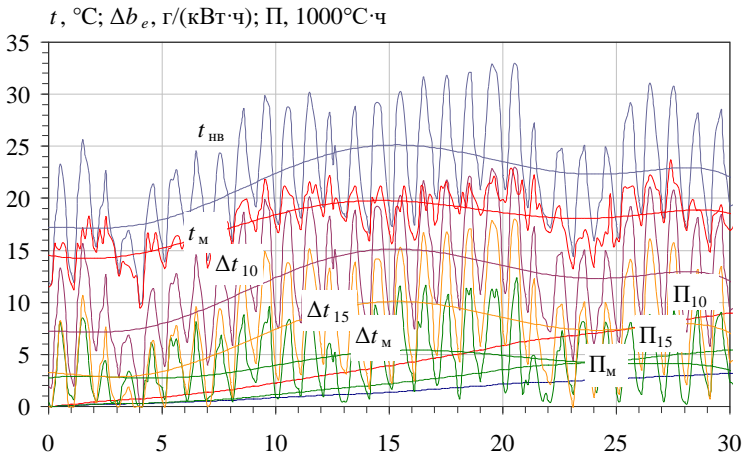


Рис. 13.2. Значення поточних зовнішньої температури  $t_{нв}$ , зниження температури повітря  $\Delta t$  і відповідного погодинного потенціалу охолодження повітря на вході двигуна,  $\Pi = \Delta t_{в} \tau$ , де  $\tau = 1$  год., сумарного потенціалу,  $\Pi = \Sigma(\Delta t_{в} \tau)$ :  $\Delta t_{10}$  і  $\Pi_{10}$  – при  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ);  $\Delta t_{15}$  і  $\Pi_{15}$  – при  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (АБХМ)

Поточні погодинні значення термочасового потенціалу охолодження  $\Pi = \Delta t_b \tau$ , де  $\tau = 1$  год,  $^\circ\text{C}\cdot\text{год}$ , чисельно збігаються з величинами зниження температури повітря  $\Delta t_b$ ,  $^\circ\text{C}$ .

Поточні значення зовнішньої температури повітря  $t_{\text{нв}}$  і мокрого термометра  $t_{\text{м}}$ , зниження температури повітря  $\Delta t = t_{\text{нв}} - t_{\text{б2}}$  в ТХМ і в результаті зволоження повітря до стану насичення  $\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{нв}} - t_{\text{м}}$  зі зниженням його температури до мокрого термометра  $t_{\text{м}}$ , відповідні сумарні (за нарощуванням) термочасові потенціали охолодження повітря на вході двигуна,  $\Pi = \Sigma(\Delta t_b \tau)$ , при охолодженні повітря до  $t_{\text{б2}} = 10^\circ\text{C}$  (в ВАХМ або ЕХМ), до  $15^\circ\text{C}$  (в АБХМ) і до  $t_{\text{м}}$  (зволоженням до стану насичення) протягом липня 2009 року наведено на рис. 13.3.

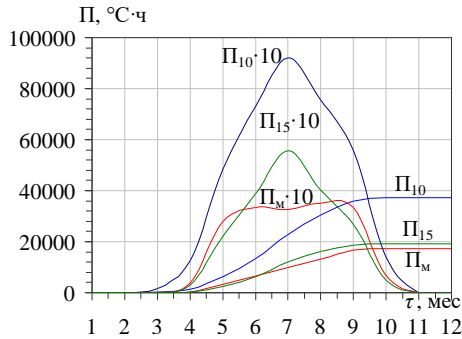


**Рис. 13.3.** Поточні значення зовнішньої температури повітря  $t_{\text{нв}}$  і мокрого термометра  $t_{\text{м}}$ , зниження температури повітря  $\Delta t = t_{\text{нв}} - t_{\text{б2}}$  в ТХМ і в результаті зволоження повітря до стану насичення  $\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{нв}} - t_{\text{м}}$  зі зниженням його температури до мокрого термометра  $t_{\text{м}}$ , сумарного термочасового потенціалу охолодження повітря на вході ГТД,  $\Pi = \Sigma(\Delta t_b \tau)$ :  $\Delta t_{10}$  і  $\Pi_{10}$  – при  $t_{\text{б2}} = 10^\circ\text{C}$  (в ВАХМ або ЕХМ);  $\Delta t_{15}$  і  $\Pi_{15}$  – при  $t_{\text{б2}} = 15^\circ\text{C}$  (в АБХМ),  $\Delta t_{\text{м}}$  і  $\Pi_{\text{м}}$  – при  $t_{\text{б2}} = t_{\text{м}}$  (липень 2009)

Як видно з рис. 13.2 і 13.3, зміна  $t_{\text{нв}}$  обумовлює відповідну зміну  $\Delta t_b$ , тобто поточних часових значень термочасового потенціалу охолодження  $\Pi = \Delta t_b \tau$ , і, отже, темпів зростання його сумарної величини  $\Pi = \Sigma(\Delta t_b \tau)$  протягом доби і місяця.

Аналогічні дані з щомісячних та їх сумарного (нарощуванням) термочасових потенціалів  $\Pi$  охолодження повітря на вході двигуна від поточної зовнішньої температури  $t_{\text{нв}}$  до кінцевої  $t_{\text{б2}} = 10^\circ\text{C}$  (в ВАХМ або ЕХМ) і  $15^\circ\text{C}$  (в АБХМ), а також в результаті зволоження повітря

до стану насичення – температури по мокрому термометру  $t_m$  протягом 2009 року наведено на рис. 13.4 (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.). При цьому щомісячні термочасові потенціали охолодження представляють собою суму добових потенціалів за кожний відповідний місяць:  $\Pi_{\text{міс}} = \Sigma(\Delta t_b \tau)_{\text{доб.}}$ , а річний потенціал – суму 12-ти щомісячних термочасових потенціалів:  $\Pi_{\text{річн}} = \Sigma \Pi_{\text{міс}}$ .



**Рис 13.4.** Значення щомісячних та їх сумарного упродовж 2009 р. термочасових потенціалів  $\Pi$  охолодження повітря на вході двигуна від  $t_{\text{нв}}$  до  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $15^\circ\text{C}$  (АБХМ) та в результаті зволоження повітря до стану насичення – до температури  $t_m$

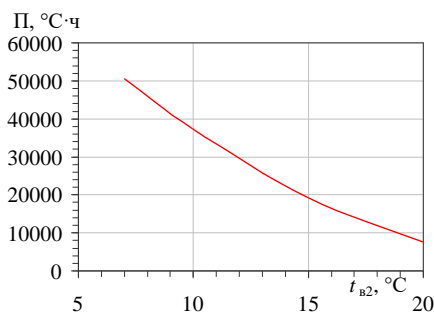
Як видно з рис. 13.4, максимальні значення щомісячного термочасового потенціалу  $\Pi$  охолодження повітря на вході двигуна припадають на найтепліші липень-серпень місяці. Найбільшим щомісячним термочасовим потенціалам охолодження  $\Pi$  відповідають максимальні темпи нарощування сумарного термочасового потенціалу за рік – найбільш крутий характер графічної залежності  $\Pi = \Sigma(\Delta t_b \tau) = f(\tau)$ .

### 13.2. Визначення типу і встановленої холодопродуктивності термотрансформаторів охолодження циклового повітря на вході двигунів з урахуванням кліматичних умов експлуатації на основі термочасового потенціалу

Оскільки глибина охолодження повітря  $\Delta t_b = t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}}$  залежить від  $t_{\text{в2}}$ , від якої у свою чергу залежить також тривалість  $\tau$ : чим нижче  $t_{\text{в2}}$ , тим більше тривалість експлуатації двигуна з охолодженням пові-

тря на вході, то вже на етапі розрахунку термочасового потенціалу охолодження за рік  $\Sigma(\Delta t_b \tau)$  з'являється можливість з урахуванням зв'язку температур охолодженого повітря  $t_{b2}$  і холодоносія ТХМ  $t_x$  ( $t_{b2} = t_x + 5 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) визначити раціональний тип ТХМ, який би забезпечував найбільшу величину річного термочасового потенціалу охолодження  $\Sigma(\Delta t_b \tau)$ .

Значення річного термочасового потенціалу охолодження П повітря на вході двигуна при різних кінцевих його температурах  $t_{b2}$  (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл., 2009 р.) дано на рис. 13.5.



**Рис. 13.5.** Значення річного термочасового потенціалу охолодження П повітря на вході двигуна при різних кінцевих його температурах  $t_{b2}$  (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл., 2009 р.)

Як видно, при охолодженні повітря в АБХМ ( $t_{b2} = 12 \dots 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) значення річного термочасового потенціалу охолодження П повітря на вході двигуна становить 20000...30000  $^\circ\text{C}\cdot\text{год}$ , тоді як в ВАХМ або ЕХМ ( $t_{b2} = 7 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) –  $\Sigma = 36000 \dots 50000 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{год}$ , тобто в 1,7...1,8 рази більше, відповідно більше й отриманий ефект у вигляді економії палива.

Для оцінки капітальних витрат і вибору раціональної ТХМ, що забезпечує найбільший економічний ефект (з урахуванням економії палива і витрат на ТХМ) в кліматичних умовах конкретного регіону, необхідно крім типу ТХМ, який визначає глибину охолодження повітря (кінцеву температуру  $t_{b2}$  і відповідний річний термочасовий потенціал охолодження П), вибрати ще й раціональну встановлену холодопродуктивність (холодильну потужність) ТХМ  $Q_0$ , що забезпечує найбільший (або близький до нього) сумарний (річний) термочасовий потенціал П охолодження повітря при високих темпах його нарощування (темпах зростання П). Інакше при завищеній встановленій холодопродуктивності  $Q_0$  матиме місце невисокий коефіцієнт викорис-

тання ТХМ (експлуатація більшу частину часу не на повну потужність і, отже, завищені капітальні витрати на ТХМ), а при заниженій  $Q_0$ , навпаки, – значне недоохолодження повітря на вході двигуна при підвищених його температурах  $t_{\text{нв}}$  (у періоди пікових теплових навантажень на ТХМ). Тому подальшим розвитком термoeкономiчного методу оцінки ефективності охолодження повітря на вході двигуна є визначення раціональної встановленої холодопродуктивності ТХМ  $Q_0$ , що забезпечує найбільший сумарний (річний) потенціал охолодження П повітря, причому при високих темпах його нарощування.

Витрати холодопродуктивності  $Q_0$  на охолодження повітря на вході двигуна залежать не тільки від величини зниження його температури  $\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}}$ , тобто кількості відведеної від повітря явної теплоти, а й від теплоти конденсації водяної пари з вологого повітря при зниженні його температури нижче точки роси в процесі охолодження. Відношення повної кількості теплоти (різниці ентальпій повітря на вході і виході з повітроохолоджувача), відведеної від вологого повітря в повітроохолоджувачі (ПО), до кількості явної теплоти, що визначається різницею температур по сухому термометру, характеризується коефіцієнтом вологовипадіння  $\xi$ . Значення коефіцієнта вологовипадіння  $\xi$  визначає напрямку процесу охолодження повітря в ПО і залежить від зниження температури повітря  $\Delta t = t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}}$ , а також зменшення вологовмісту  $\Delta d = d_{\text{нв}} - d_{\text{в2}}$ , яке, в свою чергу, – від відповідних значень відносної вологості  $\varphi_{\text{нв}}$  і  $\varphi_{\text{в2}}$ , змінних протягом доби. Тоді повні витрати холодопродуктивності  $Q_0$  на охолодження вологого повітря на вході двигуна  $Q_0 = G_{\text{в}} \cdot \xi c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , а питомі витрати, що припадають на одиницю витрати повітря  $G_{\text{в}} = 1$  кг/с, відповідно  $q_0 = \xi c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , де  $c_{\text{вл}}$  – теплоємність вологого повітря.

Значення коефіцієнта вологовипадіння  $\xi$  розраховують як

$$\xi = (I_{\text{в1}} - I_{\text{в2}}) / [c_{\text{вл}} (t_{\text{в1}} - t_{\text{в2}})] = (I_{\text{в1}} - I_{\text{н}}) / [c_{\text{вл}} (t_{\text{в1}} - t_{\text{н}})], \quad (13.1)$$

де  $I_{\text{в1}}$  і  $I_{\text{в2}}$  – ентальпії вологого повітря на вході і виході повітроохолоджувача;  $I_{\text{н}}$  – ентальпія повітря на виході повітроохолоджувача при його охолодженні до стану насичення, тобто  $\varphi_2 = 100\%$ ;  $t_{\text{н}}$  – температура зовнішньої поверхні на виході повітроохолоджувача, яку приймають на 5...10 °С вище температури  $t_{\text{х}}$  холодоносія в повітроохолоджувачі;  $c_{\text{вл}}$  – теплоємність вологого повітря при середній температурі  $0,5(t_{\text{в1}} + t_{\text{в2}})$ .

При цьому ентальпія вологого повітря розраховується як

$$I_{\text{в}} = c_{\text{вл}} \cdot t_{\text{в}} + r_{\text{п}} d = (1,01 + 1,89d) t_{\text{в}} + r_{\text{п}} d, \quad \text{кДж/кг}, \quad (13.2)$$

де  $r_p$  – питома теплота фазового перетворення (конденсації),  $r_p \approx 2500$  кДж/кг;  $d$  – вологовміст повітря, тобто кількість водяної пари в 1 кг сухої частини повітря, кг/кг с.п.

Теплоємність вологого повітря знаходять як  $c_{вл} = 1,01 + 1,89d$ , а його вологовміст  $d = 0,622 P_p / (P - P_p)$ . Тоді з урахуванням  $\varphi = \rho_p / \rho_p'' = P_p / P_p''$  отримують  $d = 0,622 \varphi P_p'' / (P - \varphi P_p'')$ , де  $\rho_p$  і  $\rho_p''$  – густина водяної пари в ненасиченому стані і стані насичення (при тиску насичення);  $P$ ,  $P_p$  і  $P_p''$  – тиск вологого повітря, парціальні тиски водяної пари в ненасиченому і насиченому повітрі (тиск водяної пари в стані насичення) при тій же температурі повітря  $t_b$ . Тиск водяної пари в стані насичення  $P_p''$  знаходять за рівнянням стану водяної пари при температурах повітря  $t_{b1}$  і  $t_{b2}$  або за таблицями властивостей водяної пари. При охолодженні повітря до стану насичення ( $\varphi_2 = 1,0$ ):  $P_p = P_p''$  при температурі точки роси. Величина  $\xi = 1$  відповідає умовам охолодження без випадіння вологи.

Значення коефіцієнта вологовипадіння  $\xi$  залежать від зміни температури  $\Delta t$  і вологовмісту  $\Delta d$  повітря в повітроохолоджувачі на вході двигуна в процесі його охолодження від температури  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10$  і  $15$  °C (рис. 13.6).

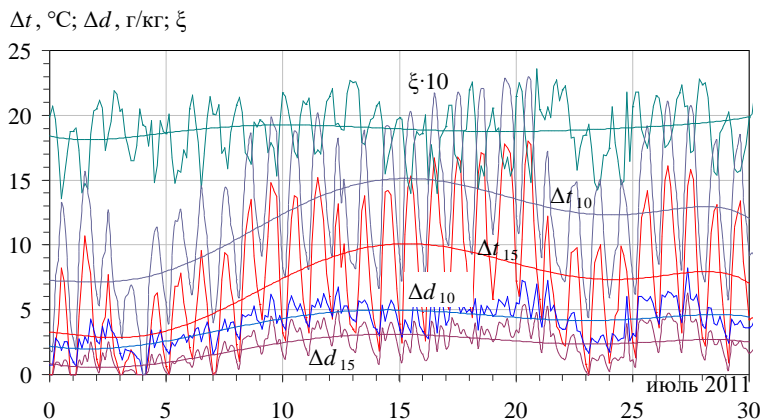


Рис. 13.6. Значення зниження температури  $\Delta t$  і вологовмісту  $\Delta d$  повітря в повітроохолоджувачі на вході двигуна та коефіцієнти вологовипадіння  $\xi$  в процесі його охолодження від температури  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10$  і  $15$  °C (липень 2009 року, м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.)

Як видно, максимальне зниження температури  $\Delta t$  і вологовмісту  $\Delta d$  повітря відбувається практично в одні і ті ж проміжки часу, хоча і з деяким зміщенням, причому максимальне зниження температури



$\Delta t$  – при мінімальних значеннях коефіцієнта вологовипадіння  $\xi$  (рис. 13.6), тобто коли частка теплоти конденсації водяної пари з вологого повітря в загальній кількості теплоти, відведеної від вологого повітря в повітроохолоджувачі, мінімальна, що має місце при максимальних температурах зовнішнього повітря  $t_{\text{нв}}$ .

Та обставина, що максимальна кількість конденсату відводиться в періоди саме найбільшого охолодження – в денні години (опівдні), а не у вечірній і нічний часи, коли відносна вологість  $\phi$  максимальна (як можна було б очікувати), відкриває можливості використання конденсату в години максимальних температур зовнішнього повітря  $t_{\text{нв}}$ .

Значення термочасового потенціалу охолодження повітря  $\Pi = \Sigma(\Delta t_{\text{в}} \tau)$  на вході двигуна залежно від питомих, що припадають на одиницю витрати повітря через двигун,  $G_{\text{в}} = 1 \text{ кг/с}$ , витрат холодопродуктивності  $q_0 = \xi c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , кВт/(кг/с), при різних кінцевих температурах охолодженого повітря  $t_{\text{в2}}$  для липня 2009 року наведено на рис. 13.7, а всього 2009 року – рис. 13.8 (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл.).

Як видно з рис. 13.8, при охолодженні повітря на вході двигуна до кінцевої температури  $t_{\text{в2}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  (в АВАХМ або ЕХМ) і питомої (що припадає на одиницю витрати повітря  $G_{\text{в}} = 1 \text{ кг/с}$ ) холодопродуктивності ТХМ  $q_0 = 34 \text{ кВт/(кг/с)}$ , значення термочасового потенціалу охолодження  $\Pi$  за 2009 рік становлять  $3600 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{год}$  при високих темпах його нарощування. Через падіння темпів нарощування  $\Pi$  подальше збільшення  $q_0$  від 34 до 40 кВт/(кг/с) не призводить до помітного зростання  $\Pi$  і, відповідно, економії палива. В той же час збільшення холодильної потужності ТХМ викликає значне зростання капітальних витрат. Таким чином, питому холодопродуктивність ТХМ  $q_0 = 34 \text{ кВт/(кг/с)}$ , можна вважати раціональною і виходячи з неї вибирати повну встановлену холодильну потужність ТХМ відповідно до витрати повітря  $G_{\text{в}}$  через ГТД:  $Q_0 = G_{\text{в}} \cdot q_0$ , кВт.

Оскільки вибір встановленої (проектної) питомої холодопродуктивності  $q_0$  і відповідної повної  $Q_0$  здійснюють не за максимальним тепловим навантаженням, а дещо меншим, що забезпечує високі темпи приросту ефекту, одержуваного за рахунок охолодження повітря на вході ГТУ у вигляді скорочення витрати палива  $V_{\text{т}}$ , то цілком очевидно, що в найбільш спекотні дні протягом деякого часу буде мати місце недоохолодження повітря до потенційно можливої мінімальної температури:  $t_{\text{в2}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $t_{\text{в2}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  (АБХМ). Про те, наскільки істотними можуть бути величини дефіциту (недостатньої) питомої (витрата повітря  $G_{\text{в}} = 1 \text{ кг/с}$ ) холодопродуктивності  $\Delta q_{0,\text{д}}$  та відповідного недоохолодження повітря  $\Delta t_{\text{д}}$  на вході ГТУ в порівнянні

з поточними значеннями питомого теплового навантаження  $q_{0.10}$  і  $\Delta q_{0.15}$  і потенційно можливими значеннями зниження температури повітря  $\Delta t_{10}$  і  $\Delta t_{15}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (АБХМ) для кліматичних умов Південно-Бузької компресорної станції (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл., 2009 р.) можна судити за рис. 13.9 і 13.10.

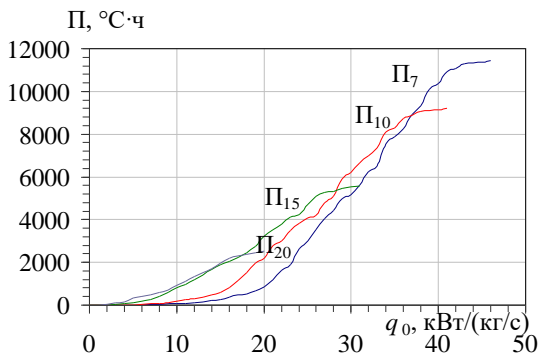


Рис. 13.7. Значення термочасового потенціалу охолодження повітря  $\Pi$  на вході двигуна залежно від питомих, що припадають на одиницю витрати повітря через двигун, витрат холодопродуктивності  $q_0$  при різних кінцевих температурах охолодженого повітря  $t_{в2}$  для липня 2009 року (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл.)

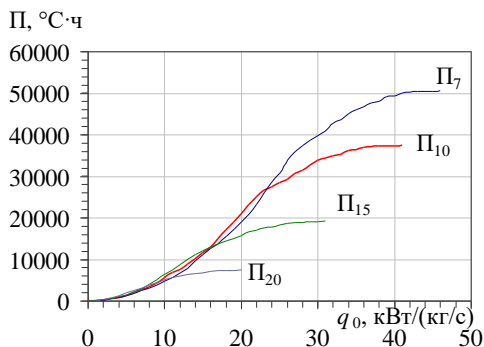


Рис. 13.8. Значення річного термочасового потенціалу охолодження  $\Pi$  повітря на вході двигуна залежно від питомих, що припадають на одиницю витрати повітря, витрат холодопродуктивності  $q_0$  при різних кінцевих температурах охолодженого повітря  $t_{в2}$  (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл., 2009 р.)

Оскільки вибір встановленої (проектної) питомої холодопродуктивності  $q_0$  і відповідної повної  $Q_0$  здійснюють не за максимальним тепловим навантаженням, а дещо меншим, що забезпечує високі темпи приросту ефекту, одержуваного за рахунок охолодження повітря на вході ГТУ у вигляді скорочення витрати палива  $V_r$ , то цілком очевидно, що в найбільш спекотні дні протягом деякого часу буде мати місце недоохолодження повітря до потенційно можливої мінімальної температури:  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$  (АБХМ). Про те, наскільки істотними можуть бути величини дефіциту (недостатньої) питомої (витрата повітря  $G_v = 1 \text{ кг/с}$ ) холодопродуктивності  $\Delta q_{0,d}$  та відповідного недоохолодження повітря  $\Delta t_d$  на вході ГТУ в порівнянні з поточними значеннями питомого теплового навантаження  $q_{0,10}$  і  $\Delta q_{0,15}$  і потенційно можливими значеннями зниження температури повітря  $\Delta t_{10}$  і  $\Delta t_{15}$  до  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$  (АБХМ) для кліматичних умов Південно-Бузької компресорної станції (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл., 2009 р.) можна судити за рис. 13.9 і 13.10.

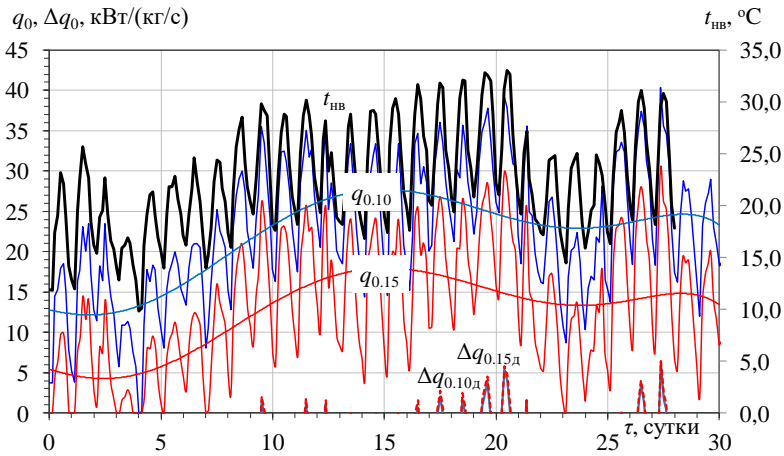
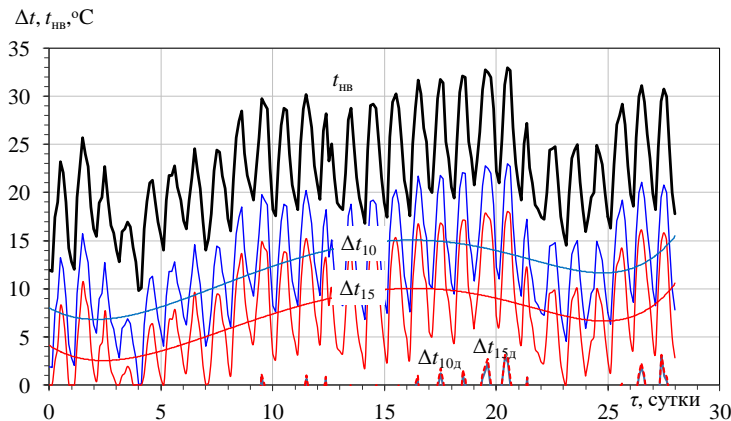


Рис. 13.9. Поточні значення температури зовнішнього повітря  $t_{нв}$ , питомих теплових навантажень на ВАХМ або ЕХМ  $q_{0,10}$  і АБХМ  $q_{0,15}$  і дефіциту питомої холодопродуктивності  $\Delta q_{0,10,d}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $\Delta q_{0,15,d}$  (АБХМ)



**Рис. 13.10.** Поточні значення температури зовнішнього повітря  $t_{нв}$ , зниження температури  $\Delta t$  повітря на вході двигуна до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в ВАХМ або ЕХМ) і до  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в АБХМ), недоохолодження  $\Delta t_{д,10}$  і  $\Delta t_{д,15}$  повітря на вході ГТУ в порівнянні з потенційно можливим його зниженням  $\Delta t$  від поточних значень  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

При цьому недоохолодження  $\Delta t_{д,10}$  і  $\Delta t_{д,15}$  повітря на вході двигуна в порівнянні з потенційно можливим зниженням температури повітря  $\Delta t$  від поточних значень температури зовнішнього повітря  $t_{нв}$  до температур  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в ВАХМ або ЕХМ і  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в АБХМ розраховували як  $\Delta t_{д,10} = \Delta t_{10} - \Delta t_{10,р}$  і  $\Delta t_{д,15} = \Delta t_{15} - \Delta t_{15,р}$ , де  $\Delta t_{10} = t_{нв} - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $\Delta t_{15} = t_{нв} - 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta t_{10,р} = q_{0,р10} / \xi$  і  $\Delta t_{15,р} = q_{0,р15} / \xi$ , а значення раціональної питомої встановленої (проектної) холодопродуктивності  $q_{0,р10}$  і  $q_{0,р15}$  визначають згідно з рис. 13.8.

З рис. 13.10 видно, що недоохолодження  $\Delta t_{д,10}$  і  $\Delta t_{д,15}$  повітря на вході двигуна в порівнянні з потенційно можливим зниженням температури повітря  $\Delta t$  від поточних значень температури зовнішнього повітря  $t_{нв}$  до температури  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в ВАХМ або ЕХМ і  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в АБХМ становить 2...3  $^{\circ}\text{C}$ , причому воно короткочасне навіть у самому спекотному місяці (липні). З цього випливає, що вибір раціональних значень питомої встановленої (проектної) холодопродуктивності  $q_{0,10}$  і  $q_{0,15}$  згідно рис. 13.8 проведений правильно і з урахуванням кліматичних умов експлуатації.

Річні витрати питомої теплоти  $q_r$  (що припадає на одиницю витрати випускних газів  $G_{гр} = 1\text{ кг/с}$ ) на отримання питомої холодопродуктивності  $q_0$  (що припадає на одиницю витрати повітря  $G_{в} = 1\text{ кг/с}$ ) при різних температурах повітря  $t_{в2}$  — у різних ТХМ дано на рис. 13.11.

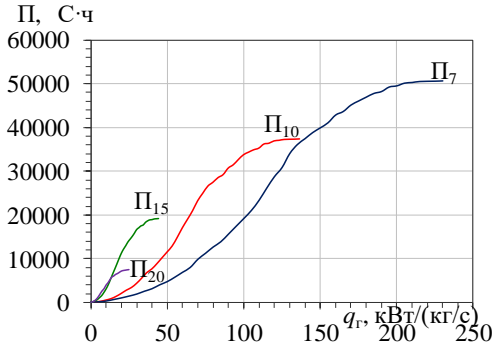


Рис. 13.11. Значення річного термочасового потенціалу охолодження  $\Pi$  повітря на вході двигуна залежно від питомих витрат теплоти  $q_T$  на отримання холоду в різних ТХМ при різних кінцевих температурах охолодженого повітря  $t_{b2}$

Оскільки температура охолодженого повітря  $t_{b2}$  визначається температурою холодоносія  $t_x$ , тобто залежить від типу ТХМ, а значить, і теплового коефіцієнта  $\zeta$ , то виходили з наступного: охолодження до  $t_{b2} = 7^\circ\text{C}$  ( $t_0 = 1\dots 2^\circ\text{C}$ ) здійснюють в ЕХМ з  $\zeta = 0,2$ ; при  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$  ( $t_0 = 3\dots 4^\circ\text{C}$ ) – в ЕХМ ( $\zeta = 0,3$ ); при  $t_{b2} = 15$  і  $20^\circ\text{C}$  – в АБХМ ( $\zeta = 0,7$  і  $0,8$  відповідно).

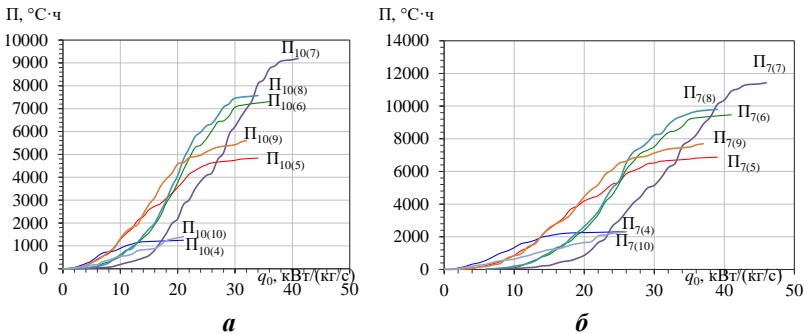


Рис. 13.12. Значення термочасового потенціалу охолодження  $\Pi$  повітря на вході двигуна залежно від питомих, що припадають на одиницю витрати повітря, витрат холодопродуктивності  $q_0$  при охолодженні повітря до температури  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$  (а) і  $t_{b2} = 7^\circ\text{C}$  (б) для квітня-жовтня 2009 року (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл., 2009 р.):  $\Pi_{10(4)} \dots \Pi_{10(10)}$  – 4-10-й місяці

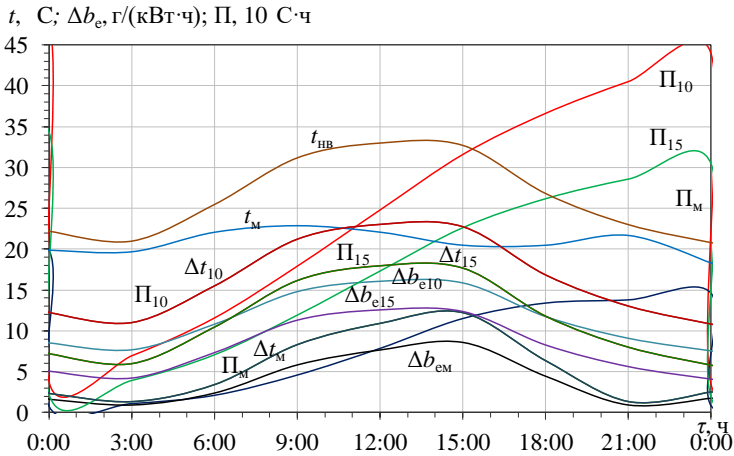
Про те, що значення питомої встановленої (проектної) холодопродуктивності  $q_{0,10} = 34 \text{ кВт}/(\text{кг}/\text{с})$  при охолодженні повітря на вході двигуна до температури  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в ЕХМ (рис. 3.8) достатньо для покриття витрат холоду в літні місяці можна судити по рис. 3.12.

З рис. 3.12,б видно, що значення раціональної питомої проектної холодопродуктивності  $q_{0,10} = 34 \text{ кВт}/(\text{кг}/\text{с})$  при охолодженні повітря на вході двигуна до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  достатньо і для більш глибокого до  $t_{в2} = 7^\circ\text{C}$  зниження температури повітря в травні-червні та серпні-вересні місяцях.

### 13.3. Оцінка паливної ефективності двигунів з охолодженням циклового повітря на вході на основі термочасового потенціалу

При використанні термочасового потенціалу охолодження як показника ефективності застосування охолодження циклового повітря на вході двигунів розрахунки значно спрощуються, оскільки достатньо мати кліматичні двигунів, наприклад ГТД, тобто залежності ККД, потужності, питомої витрати палива від температури повітря на вході. Так, для газотурбокомпресорного агрегату ГТК-10-4 Південно-Бузької компресорної станції (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.) та ГТД виробництва ДП НВКГ "Зоря"- "Машпроект" при зниженні температури повітря на вході на  $1^\circ\text{C}$  питома витрата палива зменшується на величину  $\Delta b_e \approx 0,7 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{год.})$ . З урахуванням цього питома, яка припадає на  $1 \text{ кВт}$  потужності ГТД, економія палива  $V_{т,у1} = V_t / N_e = \Pi (\Delta b_e / \Delta t) = \Pi \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}$ ,  $\text{кг}/\text{кВт}$ , а економія палива  $V_t$  для ГТД потужністю, наприклад  $10 \text{ МВт}$ , в результаті охолодження повітря на вході до різних кінцевих температур  $t_{в2}$  визначається як  $V_{т,10} = V_{т,у1} \cdot N_e = V_{т,у1} \cdot 10 \text{ МВт}$ , т.

Значення поточного термочасового потенціалу охолодження повітря на вході ГТД,  $\Pi = \Delta t_v \tau$ , і сумарного (за нарощенням) потенціалу,  $\Pi = \Sigma(\Delta t_v \tau)$ , а також поточні значення зменшення питомої витрати палива  $b_e$  за рахунок охолодження повітря на вході зі зниженням його температури на величину  $\Delta t$  від поточної зовнішньої температури  $t_{вв}$  до кінцевої  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (в ВАХМ або ЕХМ) і  $15^\circ\text{C}$  (в АБХМ), а також в результаті зволоження повітря до стану насичення з пониженням його температури до температури за мокрим термометром  $t_m$  для кліматичних умов експлуатації ГТД газоперекачувальних агрегатів Південно-Бузької компресорної станції (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.) протягом доби (7.07.2009) наведено на рис. 13.13, а протягом липня 2009 року – на рис. 13.14.



**Рис. 13.13.** Значення поточного термочасового потенціалу охолодження повітря на вході ГТД,  $\text{П} = \Delta t_{\text{в}} \tau$ , і сумарного потенціалу,  $\text{П} = \Sigma(\Delta t_{\text{в}} \tau)$ , а також поточні зменшення питомої витрати палива  $b_e$  за рахунок охолодження повітря на вході з пониженням його температури на величину  $\Delta t$  від поточної зовнішньої температури  $t_{nb}$  до кінцевої  $t_{b2} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  (в ВАХМ або ЕХМ) і  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  (в АБХМ), а також в результаті зволоження повітря до стану насичення з пониженням його температури до температури по мокрому термометру  $t_m$  (7.07.2009)

Для розрахунку річної економії палива завдяки охолодженню повітря на вході ГТД, наприклад в ВАХМ або ЕХМ до  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$ , достатньо помножити річний термочасовий потенціал охолодження  $\text{П} = 36000 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{ч}$  (згідно з рис. 13.15 при  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$ ) на величину зменшення питомої витрати палива  $\Delta b_e$ , що припадає на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  зниження температури повітря на вході ГТД, та на потужність ГТД.

З урахуванням цього питома, яка припадає на  $1 \text{ кВт}$  потужності ГТД, економія палива  $V_{\tau,y1} = V_{\tau} / N_e = \text{П} (\Delta b_e / \Delta t) = \text{П} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}$ , кг/кВт, а загальна економія палива  $V_{\tau}$  за рік для ГТД потужністю, наприклад  $10 \text{ МВт}$ , в результаті охолодження повітря на вході до різних кінцевих температур  $t_{b2}$  визначається як  $V_{\tau,10} = V_{\tau,y1} \cdot N_e = V_{\tau,y1} \cdot 10 \text{ МВт}$ , т (рис. 13.14).

Як видно, при охолодженні повітря на вході ГТД в АБХМ ( $t_{b2} = 12 \dots 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) річна питома, яка припадає на  $1 \text{ кВт}$  потужності ГТД, економія палива (природного газу) становить  $V_{\tau,y1} = 13 \dots 20 \text{ кг/кВт}$ , тоді як в ВАХМ або ЕХМ ( $t_{b2} = 7 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) –  $V_{\tau,y1} = 26 \dots 35 \text{ кг/кВт}$ , тобто в  $1,7 \dots 1,8$  рази більше.

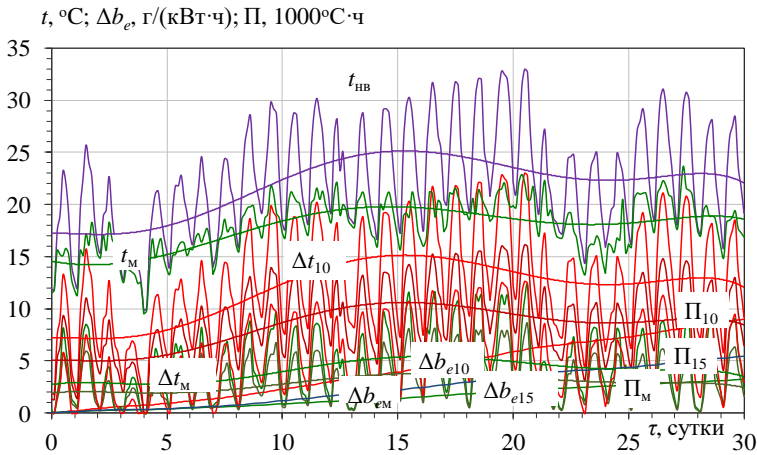


Рис. 13.14. Значення поточного термочасового потенціалу охолодження повітря на вході ГТД,  $\Pi = \Delta t_b \tau$ , і сумарного потенціалу,  $\Pi = \Sigma(\Delta t_b \tau)$ , поточні зменшення питомої витрати палива  $b_e$  за рахунок зниження температури повітря на величину  $\Delta t$  від поточної  $t_{нв}$  до  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАХМ або ЕХМ) і  $15^\circ\text{C}$  (АБХМ), а також в результаті зволоження повітря до стану насичення з пониженням його температури до температури по мокрому термометру  $t_m$  протягом липня 2009 року

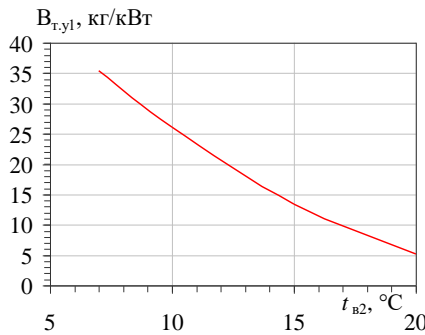
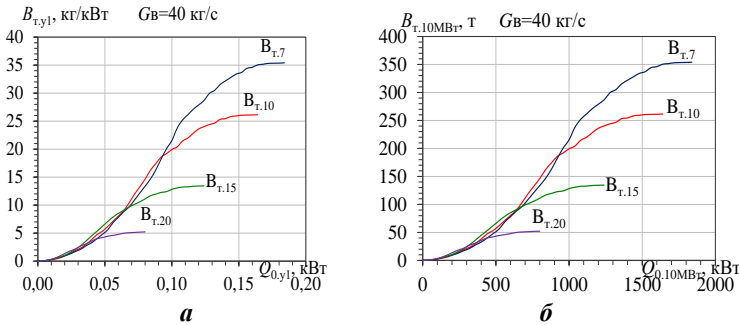


Рис. 13.15. Значення річної питомої економії палива  $V_{т,yl}$ , що припадає на 1 кВт потужності ГТД при різних температурах охолодженого повітря  $t_{b2}$  (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл., 2009 р.)

Значення річної економії палива  $V_{т,yl}$ , що припадає на 1 кВт потужності ГТД, в залежності від відповідних проектних витрат холодопродуктивності (холодильної потужності) на охолодження повітря на



вході ГТД потужністю 1 кВт  $Q_{0,y1}$  наведено на рис. 13.16,а, а річної економії палива  $V_{т,10МВт}$  для ГТД потужністю 10 МВт в залежності від відповідних витрат холодопродуктивності  $Q_{0,10МВт} = q_0 G_{в,10МВт}$  при різних кінцевих температурах охолодженого повітря  $t_{в2}$ :  $V_{т,7...20}$  при  $t_{в2} = 7; 10; 15$  і  $20$  °С наведено на рис. 13.16,б. При цьому витрату охолоджуваного циклового повітря через ГТД потужністю 10 МВт прийнято  $G_{в,10МВт} = 40$  кг/с як для вітчизняних UGT10000 і закордонних ГТД простого циклу. Для регенеративних ГТД газотурбокомпресорного агрегату застарілої моделі ГТК-10-4  $G_{в,10МВт} = 80$  і  $120$  кг/с при навантаженнях відповідно 70 і 100 %, а отже й витрати холодопродуктивності (для  $G_{в,10МВт} = 40$  кг/с на рис. 13.16,б) мають бути пропорційно збільшені згідно зі співвідношенням  $Q_{0,10МВт} = q_0 G_{в,10МВт}$ .



**Рис. 13.16.** Значення річної економії палива  $V_{т,y1}$ , що припадає на 1 кВт потужності ГТД, в залежності від відповідних проектних витрат холодопродуктивності на охолодження повітря на вході ГТД потужністю 1 кВт  $Q_{0,y1}$  (а) та річної економії палива  $V_{т,10МВт}$  для ГТД 10 МВт в залежності від відповідних витрат холодопродуктивності  $Q_{0,10МВт}$  (при  $G_{в,10МВт} = 40$  кг/с) (б) при температурах охолодженого повітря  $t_{в2}$ :  $V_{т,7...20}$  – при  $t_{в2} = 7; 10; 15$  і  $20$  °С (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл., 2009 рік)

Як видно, при охолодженні повітря на вході ГТД до кінцевої температури  $t_{в2} = 10$  °С, тобто в ВАХМ або ЕХМ, встановленої (проектної) холодопродуктивності  $Q_{0,10МВт} = 1400$  кВт достатньо, щоб отримати річну економію палива 250 т. Використання ж більшої ВАХМ або ЕХМ встановленою (проектною) холодопродуктивністю  $Q_{0,10МВт} = 1400$  кВт (на 25 % більше) хоча і забезпечить охолодження повітря до низької температури  $t_{в2} = 10$  °С в періоди максимальних температур  $t_{нв}$ , але приріст економії палива буде незначним: 10...15 т, тобто не більше 5 % її величини 250 т при  $Q_{0,10МВт} = 1400$  кВт. Це не виправдо-

вує застосування більш потужної і відповідно дорогої холодильної машини, яка практично весь час буде експлуатуватися не на повну потужність. Таким чином, ВАХМ або ЕХМ зі встановленою холодопродуктивністю  $Q_{0.10\text{МВт}} = 1400$  кВт є найбільш раціональним варіантом.

### 13.4. Оцінка ефективності виробництва електричної енергії двигунами-генераторами з охолодженням циклового повітря на вході на основі термочасового потенціалу

Охолодження циклового повітря на вході підвищує термодинамічну ефективність теплових двигунів, наслідком чого є скорочення питомої витрати палива  $\Delta b_e$  (розд. 13.3) і збільшення їх потужності  $\Delta N_e$ . При цьому, якщо тепловий двигун входить до складу електрогенеруючої енергоустановки (приводить електрогенератор), то зростає виробництво електричної енергії, а якщо служить в якості приводу, наприклад газоперекачувального компресора, – збільшується продуктивність останнього. В обох випадках ефект від охолодження повітря на вході можна представити у вигляді збільшення потужності двигуна за певний проміжок часу, наприклад, за рік,  $\Sigma \Delta N_e \cdot \tau$ , використовуючи при цьому значення відповідного сумарного термочасового потенціалу охолодження  $\Pi = \Sigma(\Delta t \cdot \tau)$ , °С·год, за аналогією з розрахунком економії палива, що значно скорочує процедуру розрахунків.

Так, якщо охолодження повітря на вході ГТД потужністю  $N_e = 10$  МВт (наприклад, UGT10000 або ГТК-10-4) на 1 °С призводить до збільшення корисної потужності ГТД на 0,7 %, тобто  $(\Delta N_e / N_e)_{1^\circ\text{C}} = 0,007$ , то годинний її приріст за рахунок зниження температури повітря на вході на величину  $\Delta t$  розраховують, виходячи з годинного потенціалу охолодження  $\Pi = \Delta t \cdot \tau$ , °С·год, де  $\tau = 1$  год, як  $\Delta N_e = (\Delta N_e / N_e)_{1^\circ\text{C}} \cdot N_e \cdot \Delta t \cdot \tau$ , а річний приріст:  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau)$ , кВт·год, де  $\tau$  – тривалість роботи двигуна за рік в годинах, – виходячи з відповідного річного потенціалу охолодження  $\Pi = \Sigma(\Delta t \cdot \tau)$ , °С·год, як  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau) = (\Delta N_e / N_e)_{1^\circ\text{C}} \cdot N_e \cdot \Sigma(\Delta t \cdot \tau)$ .

Приріст корисної потужності  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau)$  для ГТД номінальною потужністю  $N_e = 10$  МВт за рік і помісячно в результаті охолодження повітря на вході до кінцевих температур  $t_{B2} = 10$  і 15 °С наведено на рис. 13.17.

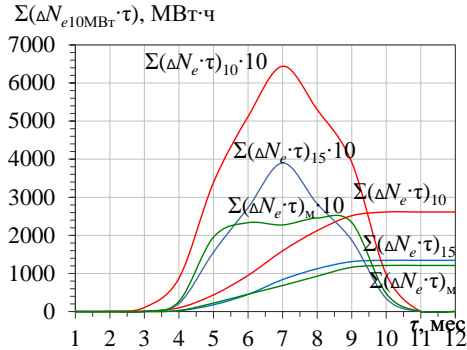


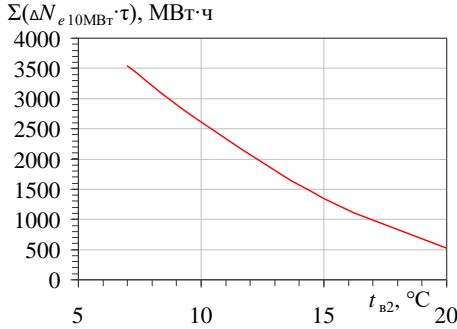
Рис. 13.17. Значення збільшення корисної потужності  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau)$  для ГТД номінальною потужністю  $N_e = 10$  МВт за рік і помісячно в результаті охолодження повітря на вході до  $t_{B2} = 10^\circ\text{C}$  (в АВАХМ або ЕХМ) і  $15^\circ\text{C}$  (в АБХМ), а також зволоження повітря до температури за мокрим термометром  $t_m$  протягом 2009 р. (м. Південноукраїнськ, Миколаївська обл.)

Як видно, найбільші прирощення корисної потужності  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau)$  за рахунок охолодження повітря на вході ГТД припадають на липень-серпень місяці, дещо менші – на червень і вересень, тобто на найбільш теплі періоди, коли зниження температури повітря на вході  $\Delta t_b$  і термочасові потенціали охолодження  $\Pi$  (рис. 13.5) найбільші, відповідно й ефект від охолодження максимальний.

На рис. 13.18 наведено значення річного приросту корисної потужності  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau)$  для ГТД  $N_e = 10$  МВт в залежності від температури  $t_{B2}$  охолодженого повітря на вході ГТД в ТХМ різних типів.

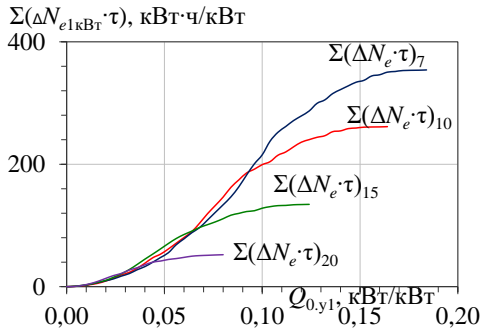
Як видно, при охолодженні повітря на вході ГТД  $N_e = 10$  МВт в АБХМ ( $t_{B2} = 12 \dots 15^\circ\text{C}$ ) річне прирощення корисної потужності становить  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau) = 1300$  МВт·год, тоді як в ВАХМ або ЕХМ ( $t_{B2} = 7 \dots 10^\circ\text{C}$ ) –  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau) = 2600$  МВт·год, тобто в 1,7...1,8 рази більше.

При цьому холодопродуктивність ТХМ (холодильну потужність)  $Q_0$ , необхідну для охолодження повітря на вході двигуна від зовнішньої його температури  $t_{HВ}$  до кінцевої температури  $t_{B2}$ , обчислюють виходячи з витрати  $G_B$  циклового повітря двигуна як  $Q_0 = G_B \cdot \xi \cdot c_{ВЛ} (t_{HВ} - t_{B2})$ , питомі ж її витрати, що припадають на одиничну потужність двигуна, як  $Q_{0,y1} = G_B \cdot \xi \cdot c_{ВЛ} (t_{HВ} - t_{B2}) / N_e$ , а ті, що припадають на одиницю витрати повітря  $G_B = 1$  кг/с, відповідно як  $q_0 = \xi \cdot c_{ВЛ} (t_{HВ} - t_{B2})$ .



**Рис. 13.18.** Значення річного приросту корисної потужності  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau)$  для ГТД  $N_e = 10$  МВт в залежності від температури  $t_{b2}$  охолодженого повітря на вході ГТД (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл.)

Збільшення питомого річного виробництва потужності  $\Sigma(\Delta N_{ey1} \cdot \tau)$ , кВт·год, що припадає на 1 кВт потужності ГТД, за рахунок охолодження повітря на вході ГТД залежно від витрати проектної питомої холодопродуктивності (холодильної потужності)  $Q_{0,y1}$ , що припадає на 1 кВт потужності ГТД, при температурах охолодженого повітря  $t_{b2} = 7; 10; 15$  і  $20$  °С (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл., 2009 р.) наведено на рис. 13.19.



**Рис. 13.19.** Збільшення питомого річного виробництва потужності  $\Sigma(\Delta N_{ey1} \cdot \tau)$ , що припадає на 1 кВт потужності ГТД, за рахунок охолодження повітря на вході ГТД залежно від витрати проектної питомої холодопродуктивності  $Q_{0,y1}$ , що припадає на 1 кВт потужності ГТД, при температурах охолодженого повітря  $t_{b2} = 7; 10; 15$  і  $20$  °С (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл., 2009 р.)

Дані зі збільшення питомого річного виробництва потужності  $\Sigma(\Delta N_{ey1} \cdot \tau)$  залежно від проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$ , кВт/(кг/с), що припадає на одиницю витрати повітря  $G_B = 1$  кг/с, дано на рис. 13.20.

Збільшення річного виробництва потужності  $\Sigma(\Delta N_{e10MBT} \cdot \tau)$  за рахунок охолодження повітря на вході ГТД потужністю 10 МВт в залежності від витрати проектної холодопродуктивності (холодильної потужності)  $Q_{0.10MBT}$  наведено на рис. 13.21.

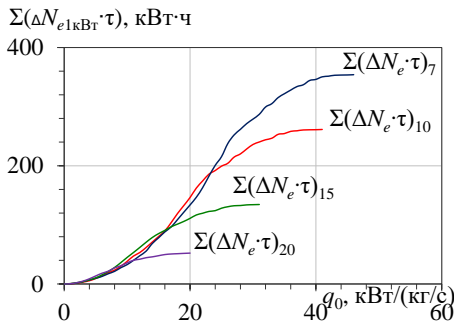


Рис. 13.20. Збільшення питомого річного виробництва потужності  $\Sigma(\Delta N_{ey1} \cdot \tau)$ , що припадає на 1 кВт потужності ГТД, в результаті охолодження повітря на вході в залежності від проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$ , що припадає на одиницю витрати повітря, при температурах охолодженого повітря  $t_{b2} = 7; 10; 15$  і  $20$  °С

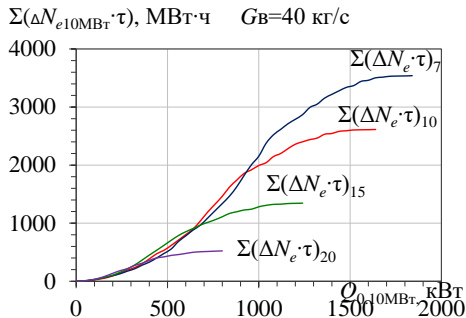


Рис. 13.21. Збільшення річного виробництва потужності  $\Sigma(\Delta N_{e10MBT} \cdot \tau)$  за рахунок охолодження повітря на вході ГТД потужністю 10 МВт в залежності від витрати проектної холодопродуктивності  $Q_{0.10MBT}$  при температурах охолодженого повітря  $t_{b2} = 7; 10; 15$  і  $20$  °С

Подання характеристик ГТД у вигляді питомої потужності, що припадає на одиницю витрати повітря,  $N_{e,y} = N_e / G_b$ , кВт/(кг/с), є широко поширеною практикою. Величина, зворотна питомій потужності, являє собою питому витрату повітря, що припадає на одиничну потужність ГТД:  $G_{b,y} = 1/N_{e,y} = G_b / N_e$ , (кг/с)/кВт, яку зручно використовувати при перерахунку питомих (віднесених на одиницю витрати повітря) витрат проектної холодопродуктивності (холодильної потужності)  $q_0$  (рис. 13.20), на холодопродуктивність, необхідну для охолодження повітря на вході ГТД одиничною потужністю 1 кВт,  $Q_{0,1кВт} = q_0 \cdot G_{b,y}$ , кВт (рис. 13.19), а також повну холодильну потужність, необхідну для охолодження повітря на вході ГТД потужністю, наприклад  $N_e = 10000$  кВт:  $Q_{0,10МВт} = Q_{0,1кВт} \cdot N_e$ , кВт або  $Q_{0,10МВт} = q_0 \cdot G_b$ , кВт, (рис. 13.21).

У разі електрогенеруючої енергоустановки наведені дані по приросту потужності двигуна являють собою збільшення річного виробництва електричної енергії за рахунок охолодження циклового повітря на вході. Так, за рахунок охолодження повітря на вході ГТД потужністю 10 МВт в ВАХМ або ЕХМ холодопродуктивністю  $Q_{0,10МВт} = 1400$  кВт до температури  $t_{b2} = 10$  °С додатково можна отримати додаткову електричну потужність  $\Sigma(\Delta N_{e10МВт} \cdot \tau) = 2600$  МВт·год за рік (рис. 13.21).

З іншого боку, за рахунок охолодження повітря на вході ГТД потужністю 10 МВт в ВАХМ або ЕХМ холодопродуктивністю  $Q_{0,10МВт} = 1400$  кВт до температури  $t_{b2} = 10$  °С згідно з рис. 4.4 можна заощадити 250 т палива (природного газу) за рік. Використовуючи заощаджене паливо, можна виробити додатково 1040 МВт·год електроенергії (при питомій витраті палива  $b_e = 240$  г/(кВт·год) на виробництво 1 кВт·год електроенергії). Таким чином, 40 % приросту потужності ГТД за рік (всього  $\Sigma(\Delta N_{e10МВт} \cdot \tau) = 2600$  МВт·год) в результаті охолодження повітря на вході в ТХМ отримують без додаткових витрат палива (в порівнянні з традиційною експлуатацією ГТД без охолодження повітря), працюючи на зекономленому паливі. На отримання решти 60 % додаткового приросту потужності ГТД за рік, тобто 1600 МВт·год, також буде витрачено палива на 380 т менше порівняно з експлуатацією ГТД без охолодження повітря на вході.

Для отримання цих додаткових 2600 МВт·год електроенергії (при традиційній експлуатації ГТУ без охолодження повітря на вході) необхідно було б ввести в експлуатацію додаткову потужність 300 кВт, що становить 3 % встановленої потужності 10 МВт з річним споживанням палива приблизно 21000 т.

### 13.5. Оцінка витрат холоду на внутрішньоциклову тригенерацію на основі термочасового потенціалу охолодження повітря на вході двигунів

Для охолодження повітря на вході двигунів на протязі певного періоду витрачається холод, витрати якого залежать від проектної холодопродуктивності (холодильної потужності) встановленої холодильної машини: питомої:  $q_0 = \xi \cdot c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , що припадає на одиницю витрати повітря  $G_{\text{в}} = 1 \text{ кг/с}$ , або повної:  $Q_0 = G_{\text{в}} \cdot \xi \cdot c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , або ж питомої витрати, що припадає на одиничну потужність двигуна:  $Q_{0,y1} = G_{\text{в}} \cdot \xi \cdot c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}}) / N_e$ .

Рациональна величина проектної холодопродуктивності (холодильної потужності) визначається, виходячи з максимального ефекту від охолодження (річної економії палива та зростання потужності ГТД – виробництва електричної/механічної енергії) за методом термочасового потенціалу охолодження повітря. Визначення відповідних раціональних витрат холодопродуктивності на охолодження повітря на вході двигунів (внутрішньоциклову тригенерацію) на протязі, наприклад року, особливо важливе у разі обмеженого скидного теплового потенціалу двигунів, зокрема в ГТД регенеративного типу, або ж за наявності споживачів холоду технологічного призначення чи систем комфортного кондиціонування житлових приміщень.

Витрати холодопродуктивності  $q_0 \cdot \tau$  на охолодження повітря на вході ГТД свідчать, наскільки ефективно використовується проектна холодопродуктивність (холодильної потужності) встановленої холодильної машини. Так, низький темп нарощування річних витрат холодопродуктивності  $q_0 \cdot \tau$  при охолодженні повітря на вході ГТД до температури  $t_{\text{в2}} = 15$  і  $20^\circ \text{C}$  в АБХМ (рис. 13.22) свідчить про теплову навантаженість АБХМ через різку зміну температури навколишнього повітря упродовж доби влітку:  $t_{\text{нв}} = 30 \dots 15^\circ \text{C}$  (рис. 13.11), з падінням теплового навантаження АБХМ до нуля за помірного клімату в міжsezоння.

При цьому раціональна проектна питома холодопродуктивність  $q_0$  (при  $G_{\text{в}} = 1 \text{ кг/с}$ ) становить  $q_0 = 24 \text{ кВт/(кг/с)}$  (рис. 13.22), тоді як при охолодженні повітря на вході ГТД до температури  $t_{\text{в2}} = 10^\circ \text{C}$  в хладоновій ЕХМ (ступінчастій АБХМ і ЕХМ) річні витрати холодопродуктивності на охолодження  $q_0 \cdot \tau$  практично вдвічі більші і відповідно темп їх нарощування більший.

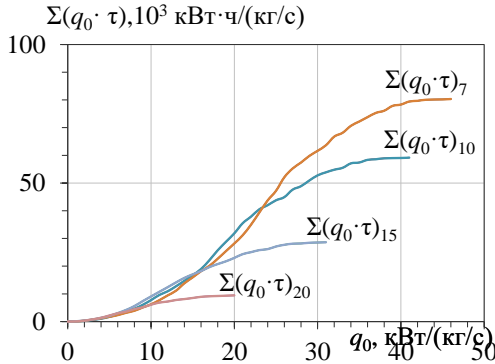


Рис. 13.22. Питомі витрати холоду  $q_0 \cdot \tau$  на охолодження повітря на вході ГТД, що припадають на одиницю витрати повітря  $G_b = 1$  кг/с, в залежності від проектної питомої холодопродуктивності  $q_0$  (при  $G_b = 1$  кг/с) при температурах охолодження повітря  $t_{b2} = 7; 10; 15$  і  $20^\circ\text{C}$  (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл., 2009 р.)

Рациональна ж проектна питома холодопродуктивність  $q_0$  при охолодженні повітря на вході ГТД до температури  $t_{b2} = 10^\circ\text{C}$  становить  $q_0 = 34$  кВт/(кг/с), тобто на  $10$  кВт/(кг/с) вище за  $q_0 = 24$  кВт/(кг/с) для АБХМ. То ж раціональним було б прийняти, навпаки, для хладонової ЕХМ як низькотемпературного ступеня двоступінчастої АБХМ-ЕХМ за проектну холодопродуктивність  $q_0 = 24$  кВт/(кг/с), а АБХМ застосовувати як бустерний високотемпературний ступінь двоступінчастої АБХМ-ЕХМ з проектною холодопродуктивністю  $q_0 = 10$  кВт/(кг/с), який застосовувався б лише в літній період за високих температур навколишнього повітря з його байпасуванням в міжсезоння.

При цьому за рахунок охолодження повітря на вході ГТД  $N_e = 10$  МВт в АБХМ ( $t_{b2} = 12 \dots 15^\circ\text{C}$ ) річне прирощення корисної потужності становить  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau) = 1300$  МВт·год, тоді як в ВАХМ або ЕХМ ( $t_{b2} = 7 \dots 10^\circ\text{C}$ ) –  $\Sigma(\Delta N_e \cdot \tau) = 2600$  МВт·год, тобто в  $1,7 \dots 1,8$  рази більше (рис. 13.16, б).

## Висновки

1. Розроблено методологію аналізу ефективності охолодження повітря на вході двигунів трансформацією скидної теплоти (внутрішньоциклової тригенерації) в різних кліматичних умовах експлуатації. Методологія базується на понятті "термочасового потенціалу охоло-



дження", який представляє собою суму добутоків зниження температури повітря на вході та відповідних проміжків часу експлуатації двигуна при зниженій температурі.

2. Завдяки врахуванню кліматичних умов величиною зниження температури зовнішнього повітря і тривалості експлуатації двигуна при зниженій температурі повітря на вході термочасовий потенціал дозволяє оцінювати ефект від охолодження повітря на вході за різними показниками ефективності двигунів: питомою витратою палива  $b_e$  і потужністю  $N_e$  (виробництвом електричної/механічної енергії). Для цього достатньо використовувати статистичні дані з впливу температури повітря на вході на термодинамічну ефективність двигуна (ККД  $\eta_e$ , питому витрату палива  $b_e$ , потужність  $N_e$ ), тобто кліматичні характеристики двигунів.

3. Термочасовий потенціал охолодження завдяки сумісному врахуванню поточних упродовж року температурного (енергетичного) і часового факторів дозволяє визначати раціональну проектну холодопродуктивність встановленої тепловикористовуючої установки охолодження повітря на вході двигунів (термотрансформатора) як основи проектування всього комплексу охолодження повітря на вході двигунів трансформацією скидної теплоти за максимальним річним ефектом від охолодження у вигляді економії палива та зростання виробництва електричної/механічної енергії.

4. Використання термочасового потенціалу охолодження повітря на вході двигуна як критерію, що враховує температурний і часовий фактори, забезпечує універсальний характер методу і можливість його використання для оцінки ефекту від охолодження повітря на вході теплових двигунів різних типів в конкретних кліматичних умовах експлуатації.

### Список використаних джерел

1. *Bhargava R. Parametric analysis of existing gas turbines with inlet evaporative and overspray fogging / R. Bhargava, C.B. Meher-Homji // Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002.–Paper GT-2002-30560.– 15 p.*

2. *Bortmany J.N. Assesment of aqua-ammonia refrigeration for pre-cooling gas turbine inlet air [Text] / J.N. Bortmany // Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002. – Paper GT-2002-30657. – 12 p.*

3. *Николаевские газовые турбины промышленного применения. – Николаев: ГП НИКГТ "Зоря"–"Машпроект". – 2004. – 20 с.*

4. *Микротурбины FlexEnergy. – 58 с. <http://dg-company.ru/wp-content/uploads/2013/12/flexenergy-microturbines-info.pdf>*

5. Автономные энергосистемы. *Microturbines Capstone, OPRA*. – 2011. – 16 с.
6. Радченко, А.Н. Термoeкономический метод анализа эффективности охлаждения воздуха на входе двигателей теплоиспользующими холодильными машинами [Текст] / А.Н. Радченко // *Холодильна техніка та технологія*. – 2014. – № 5(151). – 2014. – С. 30–36.
7. Радченко, А.Н. Эффективность способов охлаждения воздуха на входе ГТУ компрессорных станций в зависимости от климатических условий [Текст] / А.Н. Радченко, С.А. Кантор // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 1(118). – С. 95–98.
8. Радченко, А.Н. Оценка потенциала охлаждения воздуха на входе газотурбинных установок трансформации теплоты отработанных газов в теплоиспользующих холодильных машинах [Текст] / А.Н. Радченко, С.А. Кантор // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 4 (111). – С. 56–59.
9. Радченко, А.Н. Методология технико-экономического обоснования эффективности применения тригенерации в газотурбинных установках [Текст] / А.Н. Радченко, А.С. Морозова // *Газотурбинные технологии: Рыбинск*. – 2013. – № 3 (114). – С. 42–45.
10. Радченко А.Н. Метод оценки тепловой эффективности термотрансформаторов комбинированного типа для охлаждения воздуха на входе регенеративных ГТУ [Текст] / А.Н. Радченко, С.А. Кантор // *Зб. наук. праць НУК*. – 2015. – Вип. № 3 (459). – С. 60 – 65.
11. Radchenko, A. Increasing the efficiency of gas turbine intake air cooling in temperate climate by hybrid waste heat recovery chiller/ A. Radchenko // *Proceedings of the 16 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE-2016*. – Szczecin, Poland. – 2016. – P. 363–371.
12. Радченко, А.Н. Методологический подход к рациональному проектированию комбинированной теплоиспользующей системы охлаждения воздуха на входе газотурбинной установки [Текст] / А.Н. Радченко, С.А. Кантор. // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 4(121). – С. 76–79.
13. Радченко, А.Н. Методологический подход к выбору тепловой нагрузки комбинированной системы охлаждения воздуха на входе ГТУ [Текст] / А.Н. Радченко, Н.И. Радченко, С.А. Кантор, Б.С. Портной // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2016. – № 6(133). – С. 55–59
14. Chaker M. Inlet fogging of gas turbine engines: Climatic analysis of gas turbine evaporative cooling potential of international locations [Text] / M. Chaker, C.B. Meher-Homji // *Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002*. – Paper GT-2002-30559. – 16 p.

## Розділ 14/Chapter 14

# Трансформація теплоти когенераційних газопоршневих модулів установки автономного електро-, тепло- та холодо-забезпечення технологічного виробництва

A.M. Радченко, P.M. Радченко, O.B. Остапенко

## Transformation of the heat of cogenerative reciprocating gas engine modules in the systems of integrated electric-, heat- and cold supply for technological purposes

Andrii Radchenko\*, Roman Radchenko, Oleksiy Ostapenko

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The paper is devoted to increasing the efficiency of transformation of waste heat of cogenerative reciprocating gas engine (RGE) module into cold in the systems of integrated electric-, heat- and cold supply (IEHCS) due to reducing waste heat of about 30% heat extracted from RGE, caused by contradictory conditions of efficient joint performance of absorption lithium-bromide chiller (ALBC) and cogenerative RGE module on the temperatures of return heat fluid at the exit of ALBC and at the inlet of cooling system of cogenerative RGE.

There are proposed and investigated many flows systems of transformation of RGE waste heat into cold for IEHCS those provide correspondence of regimes of joint performance of ALBC and cogenerative RGE with minimum waste heat, improving thermodynamic efficiency of waste heat recovery with increasing the coefficient of performance of waste heat recovery system from 0.55 to 0.7.

The improved physical and mathematical models of the processes of transformation of RGE waste heat into cold with account of heat wasted during heat transformation and changes in climatic conditions of performance.

**Keywords:** *system of integrated electric-, heat- and cold supply, heat transformation, absorption lithium-bromide chiller*

---

\* Corresponding author e-mail: [andrad69@mail.ru](mailto:andrad69@mail.ru)

## **Зміст**

### *Вступ*

#### **14.1. Аналіз ефективності існуючої системи**

*трансформації скидної теплоти когенераційного  
ГПД в АБХМ*

#### **14.2. Двопоточні системи утилізації скидної тепло- ти ГПД із загальним потоком теплоносія від утилізаційного котла**

#### **14.3. Системи двоступеневої трансформації скидної теплоти ГПД в АБХМ**

#### **14.4. Оцінка техніко-економічної ефективності реалізації результатів дослідження**

### *Висновки*

### *Список використаних джерел*

## **Вступ**

В руслі загальносвітової тенденції децентралізації енергопостачання все більшого поширення набувають установки автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення (УАЕТХ), в яких скидна теплота привідних двигунів- електрогенераторів трансформується в холод тепловикористовуючими холодильними машинами (ТХМ), а холод використовується на технологічні потреби та кондиціонування повітря різних об'єктів. Особливо перспективним є застосування для приводу електрогенераторів газопоршневих двигунів (ГПД), що випускаються в когенераційному виконанні – зі штатними теплообмінниками, в яких скидна теплота відводиться на нагрів води (теплоносія), теплота якої в свою чергу трансформується в холод абсорбційною бромистолітєвою холодильною машиною (АБХМ). Термічний стан ГПД забезпечується підтриманням температури зворотного (охолодженого) теплоносія на вході ГПД не вище 70 °С.[1] В той же час ефективність трансформації теплоти в холод в АБХМ висока за умови зниження температури теплоносія в АБХМ не більше ніж на 10...15 °С, тобто до 75...80 °С при його температурі на виході з ГПД (на вході АБХМ) 90 °С. Через суперечливі вимоги до ефективної роботи ГПД і АБХМ по температурі теплоносія для підтримання температури зворотного теплоносія на вході ГПД на безпечному рівні 70 °С він додатково охолоджується в градирні "аварійного скидання". При цьому втрати теплоти сягають

30 %, внаслідок чого загальний ККД (електричний і тепловий) знижується до 0,6 порівняно з 0,8 за відсутності теплових втрат.

Метою дослідження є підвищення ефективності трансформації скидної теплоти в холод в установках автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення шляхом узгодження сумісної роботи когенераційних модулів ГПД і АБХМ за мінімальних теплових втрат.

Об'єктом дослідження є процеси трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод тепловикористовуючими холодильними машинами в установках автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення.

Предмет дослідження – процеси і параметри процесів трансформації скидної теплоти в холод в установках автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення з узгодженням режимів сумісної роботи когенераційних модулів ГПД та АБХМ.

Останні два десятиріччя як базові двигуни установок автономного енергозабезпечення широкого поширення набули газопоршневі двигуни (ГПД), призначені окрім електропостачання ще й для отримання гарячої води. Такі ГПД випускаються у вигляді когенераційних модулів зі штатними теплообмінниками для відведення теплоти від мастила, охолоджуючої води сорочки двигуна, наддувної газоповітряної суміші (ГПС) і випускних газів на нагрів води (рис. 14.1).

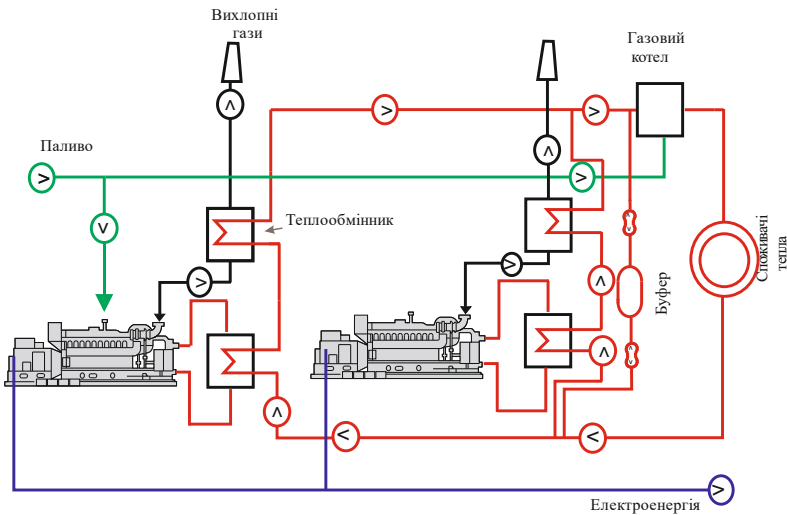


Рис. 14.1 Схема системи утилізації теплоти наддувної газоповітряної суміші (ГПС), машинного мастила, охолоджуючої води рубашки двигуна та випускних газів когенераційного модуля ГПД

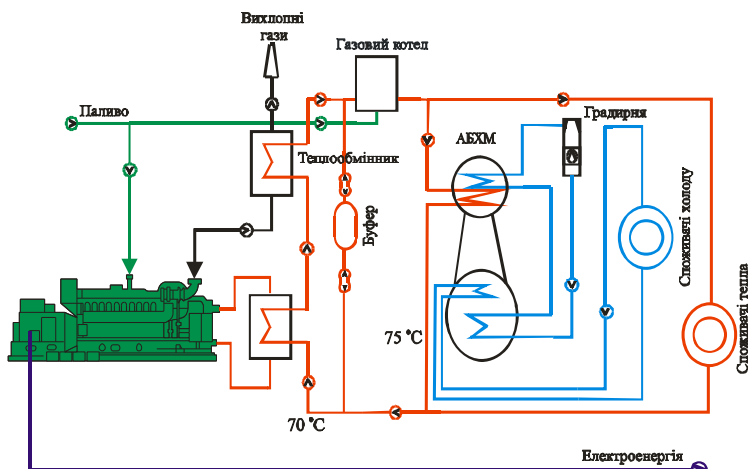


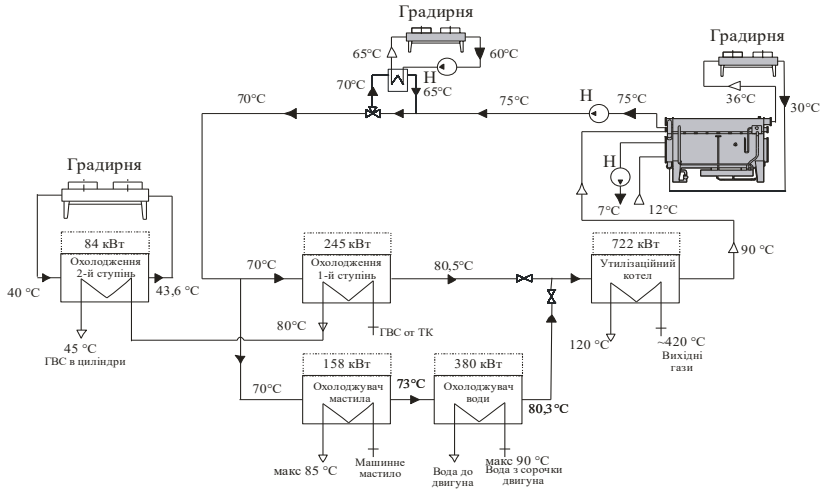
Рис. 14.2 Схема системи трансформації скидної теплоти мастила, охолоджуючої води рубашки двигуна, наддувної газоповітряної суміші і випускних газів абсорбційною бромистолітєвою холодильною машиною (АБХМ) з отриманням холодної води з температурою  $t_x = 7^\circ\text{C}$

Обґрунтування напрямку підвищення ефективності трансформації скидної теплоти ГПД в холод проведено для типового когенераційного модуля ГПД JMS 420 GS корпорації "GE-Jenbacher" (специфікаційні електрична потужність 1400 кВт і тепла потужність 1500 кВт) у складі тригенераційної установки з двох ГПД JMS 420 GS, АБХМ AR-D500L2 Century (холодопродуктивність 2000 кВт). Скидна теплота ГПД використовується в АБХМ для виробництва холоду для потреб технологічного охолодження і кондиціонування повітря.

Особливо гостро проблема трансформації скидної теплоти стоїть у когенераційних модулях на базі ГПД, оскільки для підтримання термічного стану ГПД, зокрема вузлів охолодження, на безпечному рівні температура зворотного (охолодженого) теплоносія на вході ГПД  $t_{\text{вхГД}}$  не повинна перевищувати  $70^\circ\text{C}$  [1]. За наявності окрім споживачів холоду ще й споживачів теплової енергії, від яких охолоджений теплоносій повертається з температурою нижче  $70^\circ\text{C}$ , його змішування з охолодженим теплоносієм від АБХМ (температура  $75\text{...}80^\circ\text{C}$ ) дозволяє підтримувати температуру суміші обох потоків на вході ГПД на рівні  $70^\circ\text{C}$  (рис. 14.2). Але за теплого клімату та відсутності споживачів тепла зниження температури зворотного теплоносія перед його подачею в когенераційну систему ГПД (до вузлів охолодження ГПД)

до необхідних 70 °С здійснюють відведенням надлишкового тепла в атмосферу у так званих градирнях аварійного скидання тепла.

Принципова схема системи трансформації скидної теплоти мастила, охолоджуючої води сорочки двигуна, наддувної газоповітряної суміші і випускних газів ГПД JMS 420 GS абсорбційним бромистолітєвим термотрансформатором (АБТТ) з отриманням холодної води з температурою  $t_x = 7\text{ °C}$  наведена на рис. 14.3.



**Рис. 14.3** Схема системи трансформації скидної теплоти мастила, охолоджуючої води рубашки двигуна, наддувної газоповітряної суміші і випускних газів ГПД JMS 420 GS абсорбційним бромистолітєвим термотрансформатором (АБТТ)

Як зазначалось, термічний стан ГПД на безпечному рівні забезпечується підтриманням температури зворотного (охолодженого) теплоносія на вході ГПД (теплоносія від АБХМ) не вище 70 °С. В той же час висока ефективність трансформації скидного тепла в холод в АБХМ має місце лише за умови зниження температури теплоносія в АБХМ не більше ніж на 10...15 °С, тобто до 75...80 °С (при температурі теплоносія на вході АБХМ – на виході з ГПД 90 °С). Тому для підтримання температури зворотного теплоносія на вході ГПД на безпечному рівні 70 °С він додатково охолоджується в градирні, а "надлишок" тепла скидається в атмосферу. Таким чином, неузгодженість режимів роботи

системи трансформації скидної теплоти в АБХМ і когенераційного модуля ГПД через суперечливі умови їх ефективної експлуатації призводить до значних втрат теплоти (близько 30 %), як наслідок, – зниження теплового ККД від 40 до 20 % і загального ККД ГПД від 0,8, вказаних у характеристиках когенераційних модулів ГПД, до реальних 0,6.

Дефіцит холоду викликає необхідність його покриття електроприводними холодильними машинами (ХМ), що призводить до різкого зростання споживання паливно-енергетичних ресурсів. Отже резерви вдосконалення установок автономного енергопостачання пов'язані з максимальним використанням скидної теплоти за високої ефективності її трансформації в холод.

### 14.1. Аналіз ефективності існуючої системи трансформації скидної теплоти когенераційного ГПД в АБХМ

На рис. 14.4 приведена схема існуючої системи трансформації скидної теплоти когенераційного модуля ГПД JMS 420 GS в АБХМ.

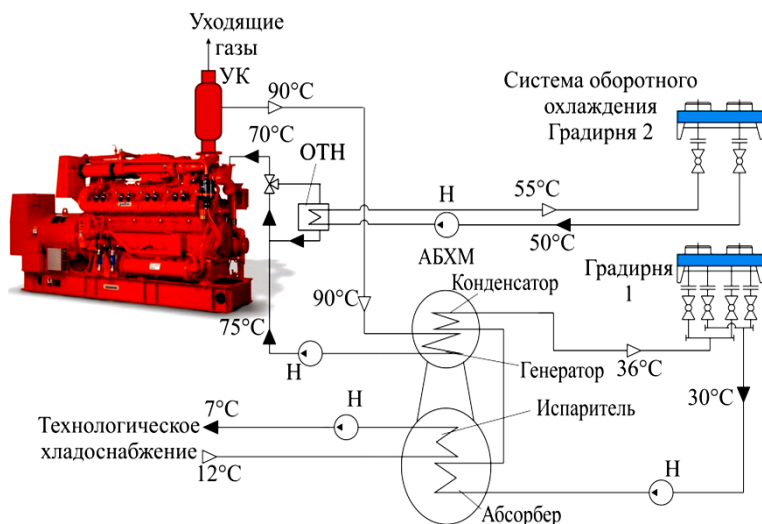


Рис. 14.4 Схема існуючої системи трансформації скидної теплоти когенераційного модуля ГПД JMS 420 GS в АБХМ: УК – утилізаційний



котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; Н – насос; градириця 2 – аварійного скидання тепла в атмосферу

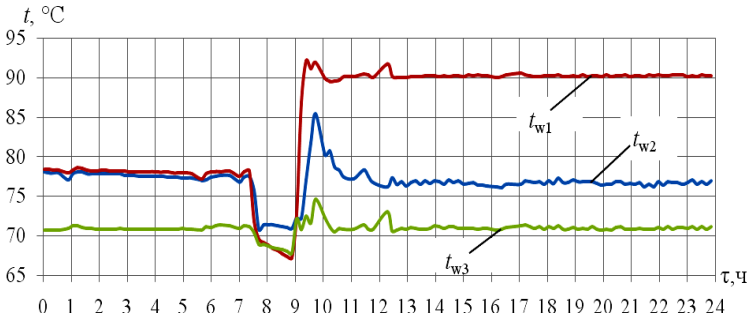


Рис. 14.5 Температури гарячої води  $t_{w1}$  на вході АБХМ, зворотної води після АБХМ  $t_{w2}$  та охолодженої зворотної води на вході в ГПД  $t_{w3}$

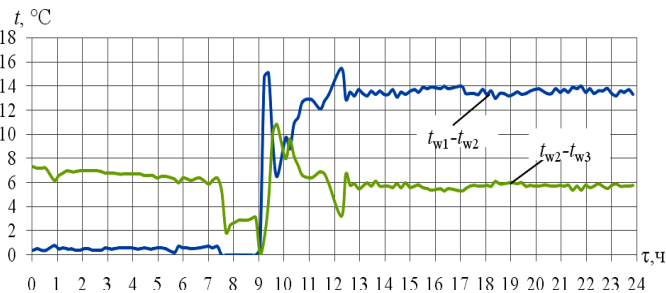


Рис. 14.6 Різниці температур гарячої та охолодженої в АБХМ води  $t_{w1} - t_{w2}$  та зворотної води в охолоджувачі ОТН  $t_{w2} - t_{w3}$

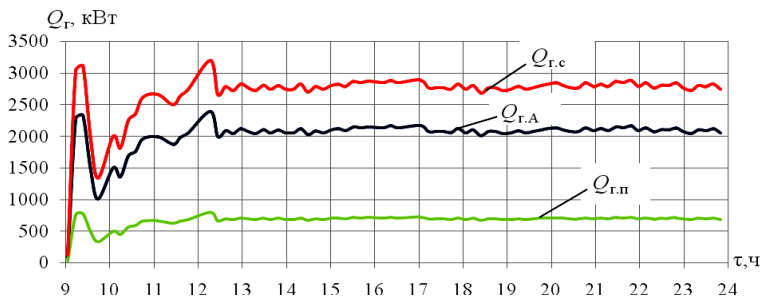
Результати обробки даних моніторингу з температур теплоносія наведені на рис. 14.5.

На рис. 14.6 наведені графіки поточних значень різниці температур гарячого теплоносія (гарячої води) на вході і виході з АБХМ, що характеризують теплоту, трансформовану в АБХМ в холод, і температур зворотного теплоносія після АБХМ на вході та виході з ОТН, а також охолодженого в ОТН шляхом аварійного скидання теплоти в атмосферу градириною через обмеження по температурі зворотного

теплоносія на вході в ГПД  $t_{w3} = 70\text{ }^\circ\text{C}$ , що накладається фірмами-виробниками ГПД.

З графіків на рис. 14.6 видно, що тільки частина теплоти, що відводиться від двигуна та характеризується різницею температур  $t_{w1} - t_{w2} = 14...15\text{ }^\circ\text{C}$ , трансформується в АБХМ в холод, тоді як вся наявна теплота визначається різницею температур  $t_{w1} - t_{w3} = 20\text{ }^\circ\text{C}$ .

За результатами моніторингу системи трансформації скидної теплоти газового двигуна JMS 420 GS-N.LC GE фірми Jenbacher в абсорбційній холодильній машині марки AR-D500L2 фірми Century, наведеними на рис. 14.5 і 14.6, були розраховані теплові потоки в системі трансформації теплоти в холод, подані на рис. 14.7.

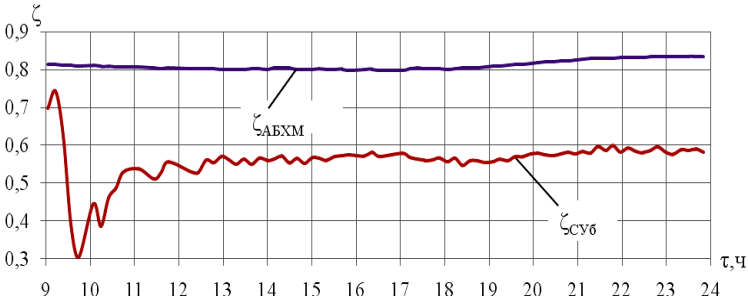


**Рис. 14.7** Значення загальної кількості теплоти  $Q_{r,c}$  гарячого теплоносія, відведеної від двох ГПД, теплоти, трансформованої в АБХМ в холод,  $Q_{r,A}$ , та втрат теплоти  $Q_{r,n}$  упродовж  $\tau = 9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011) для базового варіанта за даними моніторингу ( $\tau = 0^{00} - 9^{00}$  – АБХМ відключена)

Як видно з графіків на рис. 14.7, загальна кількість одержуваної від двигуна теплоти у вигляді гарячої води з температурою  $t_r = 90\text{ }^\circ\text{C}$  становить  $Q_{r,c} \approx 2800$  кВт, з якої в АБХМ використовується тільки частина,  $Q_{r,A} \approx 2000$  кВт.[2] У той же час через обмеження фірми-виробника ГПД по температурі зворотного теплоносія на вході в ГПД  $t_{w3} = 70\text{ }^\circ\text{C}$  в теплообміннику ОТН та градирні аварійного скидання від нього відводиться надлишок теплоти  $Q_{r,n} \approx 800$  кВт. Тобто втрати теплоти  $Q_{r,n}/Q_{r,c}$  складають майже 30 % загальної її кількості  $Q_{r,c}$ , відведеної від ГПД.

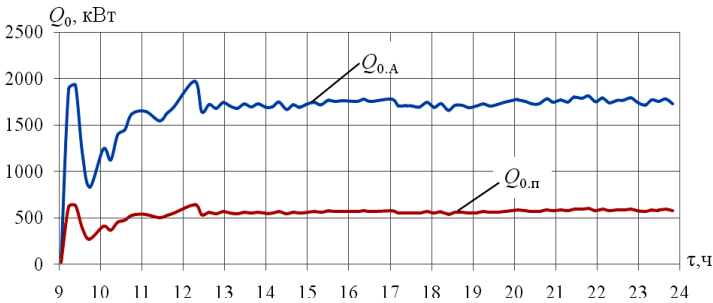
З урахуванням температури гарячого теплоносія  $t_{w1}$  (рис. 14.5) і температури конденсації  $t_k$  водяної пари в АБХМ, яка визначається, виходячи зі значень температури води  $t_{o,v}$ , охолоджуючої конденсатор і генератор пари-десорбер АБХМ, як  $t_k = t_{o,v} + 3\text{ }^\circ\text{C}$ , були розраховані

значення теплового коефіцієнта АБХМ AR-D500L2 фірми Century  $\zeta_{\text{АБХМ}}$  і всієї системи утилізації  $\zeta_{\text{СУ6}}$  для базового варіанта (рис. 14.8).



**Рис. 14.8** Значення теплового коефіцієнта АБХМ AR-D500L2 фірми Century  $\zeta_{\text{АБХМ}}$  і всієї системи утилізації  $\zeta_{\text{СУ6}}$  для базового варіанта протягом  $\tau = 9^{\text{00}} - 24^{\text{00}}$  (28.07.2011) за даними моніторингу ( $\tau = 0^{\text{00}} - 9^{\text{00}}$  – АБХМ відключена)

За результатами моніторингу були розраховані також поточні значення холодопродуктивності АБХМ  $Q_{0,A}$  і потенційно можливої кількості холоду  $Q_{0,n}$ , яку можна було б отримати трансформацією в АБХМ (при тепловому коефіцієнті  $\zeta_{\text{АБХМ}} = 0,7$ ) скидного тепла  $Q_{г,п}$  (рис. 13.7) існуючої системи утилізації (рис. 14.9).



**Рис. 14.9** Поточні значення холодопродуктивності  $Q_{0,A}$  базового варіанта системи утилізації, а також потенційно можливої кількості холоду  $Q_{0,n}$ , яку можна отримати трансформацією скидного тепла  $Q_{г,п}$  в АБХМ при тепловому коефіцієнті  $\zeta_{\text{АБХМ}} = 0,7$  ( $\tau = 0^{\text{00}} - 9^{\text{00}}$  – АБХМ відключена)

Як видно з графіків холодопродуктивності на рис. 14.9, якщо трансформувати в АБХМ (з  $\zeta_{\text{АБХМ}} \approx 0,7$ ) в холод надлишкове тепло  $Q_{\text{г.п}}$  (рис. 14.7), яке скидається в атмосферу градирнею аварійного скидання, то гіпотетично можна збільшити холодопродуктивність установки з 1600 кВт до 2100 кВт.

### 14.2. Двопоточні системи утилізації скидної теплоти ГПД із загальним потоком теплоносія від утилізаційного котла

Принципова схема удосконаленої системи одноступінчастої (в одній АБХМ) трансформації скидної теплоти когенераційного модуля ГПД JMS 420 GS з підведенням до ГПД зворотного теплоносія двома потоками з різними температурами 70 і 75 °С наведена на рис. 14.10.

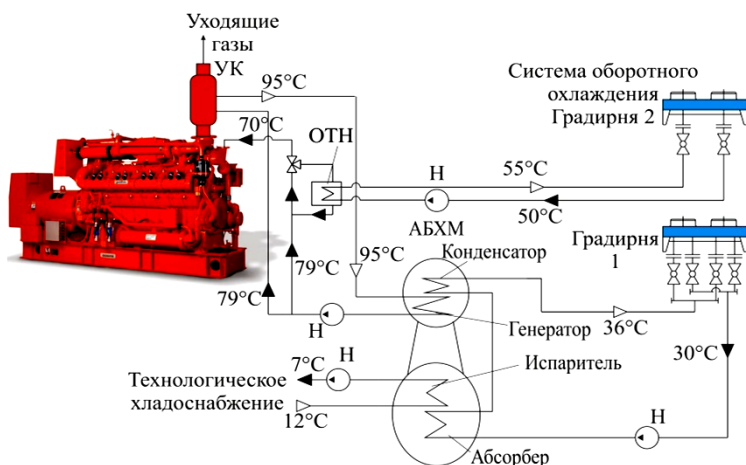
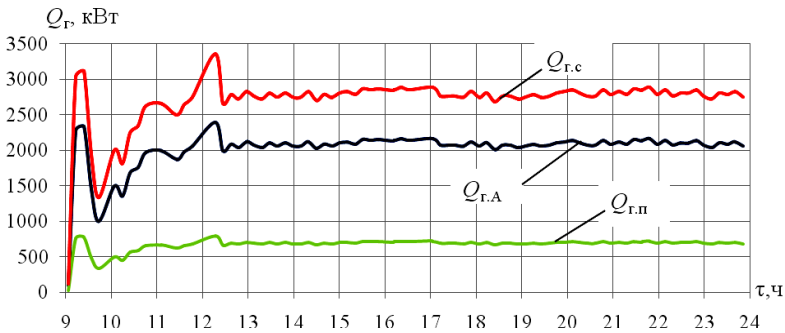


Рис. 14.10 Схема вдосконаленої системи одноступінчастої (в одній АБХМ) трансформації скидної теплоти когенераційного модуля ГПД JMS 420 GS з підведенням до ГПД зворотного теплоносія двома потоками з різними температурами: УК – утилізаційний котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; Н – насос; градирня 2 – аварійного скиду тепла

Принцип повернення теплоносія двома потоками з різною температурою полягає в тому, що теплоносій після існуючої АБХМ поділяють на два потоки, один з яких направляють в охолоджувач зворотного теплоносія (ОТН), де від нього відводять теплоту в контур градирні

аварійного скидання і скидають в атмосферу, після чого охолоджений теплоносій подають на охолодження вузлів ГПД, як і в існуючому варіанті, другий же потік неохолодженого зворотного теплоносія направляють в обхід гілки аварійного скидання, а також теплообмінників охолодження масла, сорочки ГПД, охолоджувача надувного повітря і подають безпосередньо в утилізаційний водогрійний котел УК [3].

Значення загальної (сумарної) кількості теплоти гарячого теплоносія, яка виходить із базового  $Q_{г.с(90)}$  і модифікованого двопоточного  $Q_{г.с(95)}$  когенераційних модулів ГПД з температурою відповідно  $t_{г.вих} = 90$  і  $95$  °С, і повертається в базовий модуль одним потоком при температурі  $t_{г.вх} = 70$  °С, а в модифікований – двома потоками: 60 % загальної витрати теплоносія подають на вхід когенераційного модуля ГПД при  $t_{г.вх} = 70$  °С, а 40 % загальної витрати теплоносія подають прямо в УК при температурі  $t_{г.вхУК} = 79$  °С; теплоти, трансформовані в холод в АБХМ базового  $Q_{г.А(90)}$  і модифікованого двопоточного  $Q_{г.А(95)}$  когенераційних модулів ГПД, а також теплоти гарячого теплоносія, що скидається градирую аварійного скидання  $Q_{гп(90)}$  і  $Q_{гп(95)}$  в обох варіантах, представлені на рис. 14.11.



**Рис. 14.11** Значення загальної кількості теплоти гарячого теплоносія  $Q_{г.с}$  когенераційного модуля ГПД, теплоти, трансформовані в холод в АБХМ  $Q_{г.А}$ , і теплоти гарячого теплоносія  $Q_{г.п}$ , що скидається в атмосферу градирую при  $t_{г.вих} = 95$  °С ( $t_{г.вхУК} = 79$  °С)

При підвищенні температури гарячого теплоносія  $t_{г.вих}$  на виході з модифікованого когенераційного модуля ГПД до  $t_{г.вих} = 95$  °С в порівнянні з базовою  $t_{г.вих} = 90$  °С кількість теплоти, трансформовані в холод в АБХМ, не зростає:  $Q_{г.А(95)} = Q_{г.А(90)}$ , так само, як і кількість скидної теплоти не зменшується:  $Q_{г.п(95)} = Q_{г.п(90)}$ , оскільки частина

зворотного теплоносія (30% загальної витрати) подають прямо в УК, а інша частина теплоносія (70% загальної витрати), від якої відводять тепло в атмосферу градирнею, має велику температуру  $t_{г.п} = 79\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ніж в базовому варіанті  $t_{г.п} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Але підвищення температури теплоносія на вході в АБХМ веде до зростання теплового коефіцієнта АБХМ.

Значення теплових коефіцієнтів базової системи утилізації скидного тепла  $\zeta_{\text{СУА6}(90)}$  і модифікованої двопоточної системи  $\zeta_{\text{СУА6}(95)}$  когенераційних модулів ГПД, а також теплових коефіцієнтів АБХМ в базовій системі утилізації скидного тепла  $\zeta_{\text{АБХМ}(90)}$  і в модифікованій двопоточній системі  $\zeta_{\text{АБХМ}(95)}$  когенераційних модулів ГПД наведені на рис. 14.12.

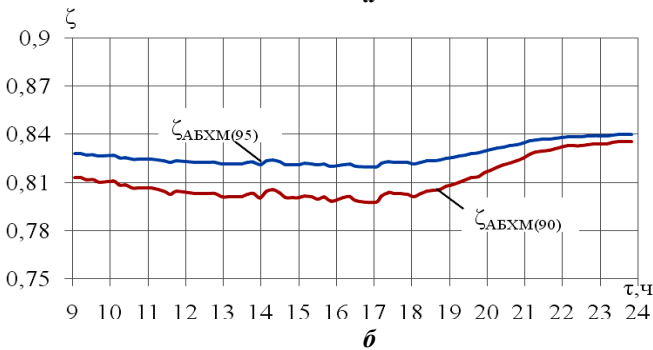
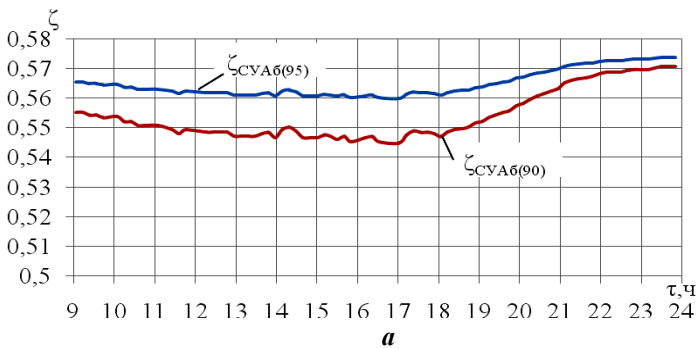


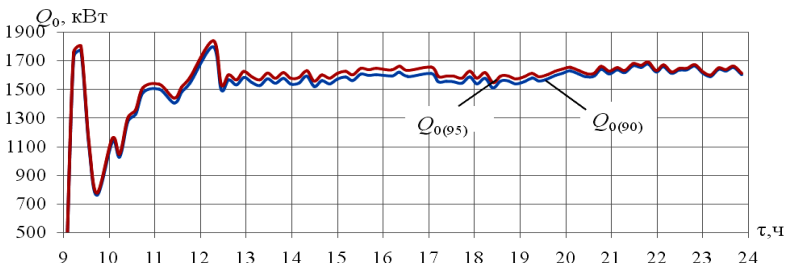
Рис. 14.12. Значення теплових коефіцієнтів базової системи утилізації скидного тепла  $\zeta_{\text{СУА6}(90)}$  і модифікованої двопоточної системи  $\zeta_{\text{СУА6}(95)}$  когенераційних модулів ГПД (а), а також АБХМ обох варіантів  $\zeta_{\text{АБХМ}(90)}$  та  $\zeta_{\text{АБХМ}(95)}$  (б):  $\zeta_{\text{АБХМ}(90)}$  – при  $t_{г.в.в.х} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $t_{г.в.х} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ );  $\zeta_{\text{АБХМ}(95)}$  – при  $t_{г.в.в.х} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $t_{г.в.х\text{УК}} = 79\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

При двопоточній когенераційній системі (рис. 14.10) частина зворотного теплоносія (30% загальної витрати) надходить безпосередньо в УК ГПД з температурою  $t_{г.вхУК} = 79\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура сумарного потоку на виході з УК ГПД  $t_{г.ввх} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Як видно, під час високих температур навколишнього повітря ( $\tau = 14^{00} - 16^{00}$ ) на вході градирень охолодження конденсаторів АБХМ і, відповідно, при найбільш низьких теплових коефіцієнтах АБХМ модифікація існуючого когенераційного модуля ГПД за схемою на рис. 14.10 (подача частини зворотного теплоносія з підвищеною температурою з  $t_{г.вхУК} = 79\text{ }^{\circ}\text{C}$  безпосередньо в УК і відповідно температурою нагрітого теплоносія на виході ГПД  $t_{г.ввх} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) забезпечує зростання  $\zeta_{СУА6(95)}$  у порівнянні з  $\zeta_{СУА6(90)}$  на 15...20%. Підвищення  $\zeta_{СУА6(95)}$  у порівнянні з  $\zeta_{СУА6(90)}$  має місце завдяки зростанню температури теплоносія на вході в АБХМ.

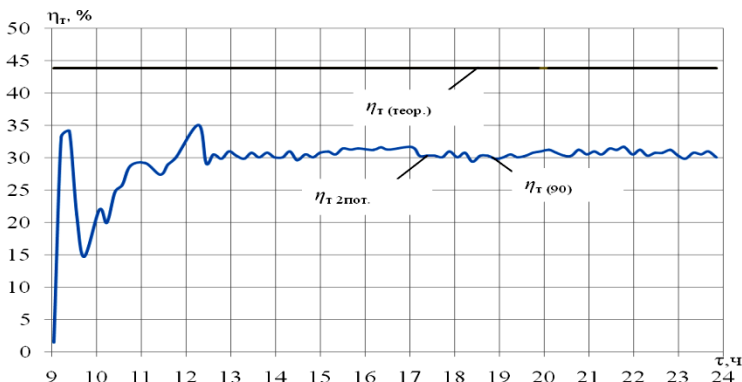
Значення холодопродуктивності одноступінчастої системи утилізації скидного тепла базового  $Q_{0(90)}$  (існуючий варіант) і модифікованого двопоточного  $Q_{0(95)}$  когенераційних модулів ГПД наведені на рис. 14.13.

Як видно, завдяки удосконаленню когенераційних систем ГПД шляхом подачі частини зворотного теплоносія з підвищеною температурою  $t_{г.вхУК}$  безпосередньо в УК - в обхід навішених на ГПД теплообмінників відведення теплоти від вузлів охолодження, для яких неприпустимо перевищення температурного рівня, відповідно з незмінною кількістю теплоти, трансформованої в холод в АБХМ,  $Q_{г.А(95)} = Q_{г.А(90)}$ , і без скорочення втрат теплоти в атмосферу градирнею відводу надлишкового тепла, холодопродуктивність системи трансформації скидної теплоти ГПД  $Q_0$  росте на 15 ... 20% за рахунок зростання теплового коефіцієнта  $\zeta_{А(95)} > \zeta_{А(90)}$ .



**Рис. 14.13** Значення холодопродуктивності одноступінчастої системи утилізації скидного тепла базового  $Q_{0(90)}$  і модифікованого двопоточного  $Q_{0(95)}$  когенераційних модулів ГПД:  $Q_{0(90)}$  – при  $t_{г.ввх} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $t_{г.вх} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ );  $Q_{0(95)}$  – при  $t_{г.ввх} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $t_{г.вхУК} = 79\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Ефективність розробленої системи трансформації скидної теплоти ГПД оцінювали також тепловим ККД  $\eta_T$ , який розраховували як відношення частини корисно використаної скидної теплоти  $Q_{г.а}$ , трансформованої в холод, до загальної кількості теплоти  $Q_{г.с}$  згоряння палива в ГПД J 420 GS потужністю 1400 кВт з урахуванням теплотворної здатності природного газу. Результати розрахунків показані на рис. 14.14.

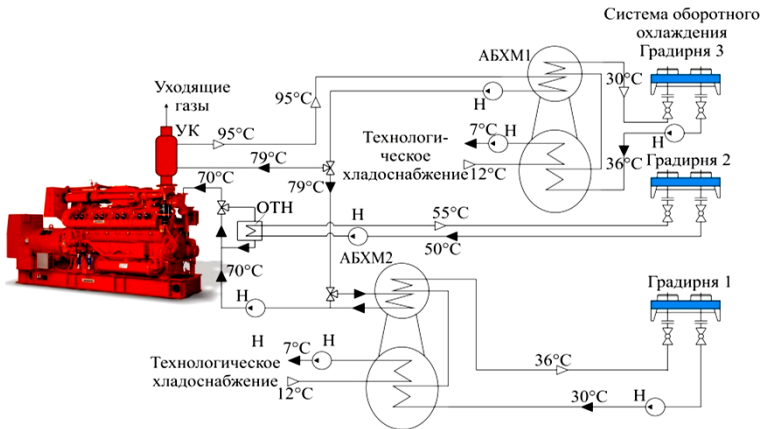


**Рис. 14.14.** Значення термічних ККД системи утилізації скидної теплоти базового варіанту  $\eta_T(90)$ , модифікованого двопоточного  $\eta_{T2\text{пот.}}$  і значення, заявлене фірмою виробником двигуна Jenbacher JMS 420 GS-N.LC GE  $\eta_T(\text{теор.})$ :  $\eta_T(90)$  – при  $t_{г.в\text{ых}} = 90^\circ\text{C}$  ( $t_{г.в\text{х}} = 70^\circ\text{C}$ );  $\eta_{T2\text{пот.}}$  – при  $t_{г.в\text{ых}} = 95^\circ\text{C}$  ( $t_{г.в\text{хУК}} = 79^\circ\text{C}$ )

Оскільки в даному варіанті кількість скидної теплоти  $Q_{г.а}$ , трансформованої в холод, не змінюється і, власне, не зменшуються втрати тепла  $Q_{г.п}$  щодо базового варіанту, то і термічний ККД  $\eta_T$  залишається незмінною у порівнянні з базовим варіантом. Тому графік термічного ККД  $\eta_{T2\text{пот.}}$  запропонованого варіанту системи трансформації скидної теплоти ГПД збігається з графіком для базового варіанту  $\eta_T(90)$ . Також для порівняння був приведений графік теоретичного термічного ККД  $\eta_T(\text{теор.})$ , представляє собою лінію з максимально можливим значенням термічного ККД, заявленого фірмою виробником для двигуна Jenbacher марки JMS 420 GS-N.LC GE.

Як розвиток попередньої схеми для вирішення поставленого завдання було запропоновано використовувати також двопоточну систему утилізації скидної теплоти ГПД з двома АБХМ [3], схема якої представлена на рис. 14.15.





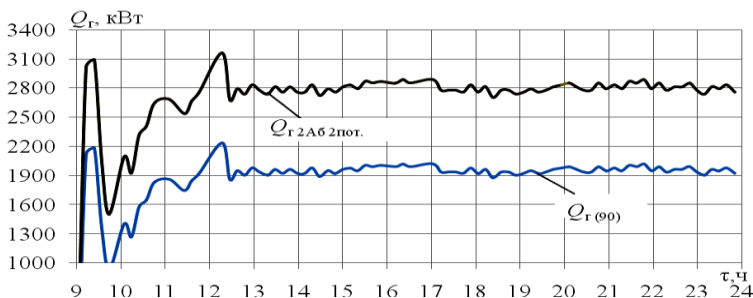
**Рис. 14.15** Схема двопоточної системи трансформації скидного тепла мастила, охолоджуючої води двигуна, надувочного газоповітряної суміші і випускних газів ГПД JMS 420 GS з двома АБХМ: УК – утилізаційний котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; Н – насос; градирня 2 – аварійного скидання тепла

Дана система утилізації заснована на двохпоточній подачі теплоносія в ГПД, що дає можливість отримувати на виході з УК газового двигуна теплоносії з температурою  $t_{г.} = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що на  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  більше базового значення  $t_{г.} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В результаті цього температура на виході після АБХМ також вище  $t_{г.А} = 79\text{ }^{\circ}\text{C}$  замість базових  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому тепловий коефіцієнт 2-й АБХМ також зростає.

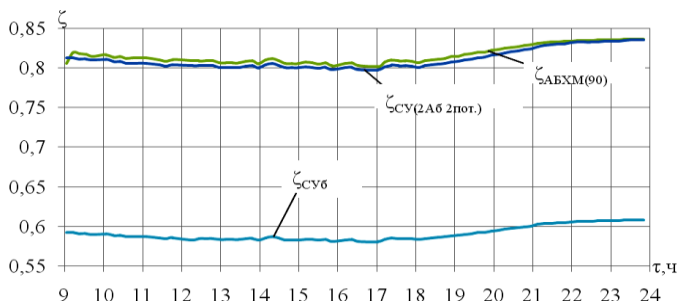
Значення кількості теплоти  $Q_{г.2АБ2плот}$  гарячого теплоносія, трансформованої в холод у запропонованій двопоточній системі утилізації з 2-ма АБХМ і в базовій системі утилізації, розраховані за даними моніторингу параметрів тригенераційної установки ТОВ "Сандора", наведені на рис. 14.16.

Значення теплових коефіцієнтів системи утилізації скидної теплоти ГПД базового варіанту  $\zeta_{СУ6}$ , а також двопоточної з двома АБХМ  $\zeta_{СУ(2АБ\ 2плот.)}$  відповідно до зміни температури води, що охолоджує  $t_{ов}$  конденсатора АБХМ протягом  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011) наведені на рис. 14.17.

Як видно з рис. 14.17, тепловий коефіцієнт запропонованої системи утилізації з двопоточною подачею теплоносія і двома АБХМ  $\zeta_{СУ(2АБ\ 2плот.)}$  досягає номінальної величини – значення теплового коефіцієнта самої АБХМ  $\zeta_{СУ6}$ , тобто отримують максимальний ефект від утилізації теплоти.



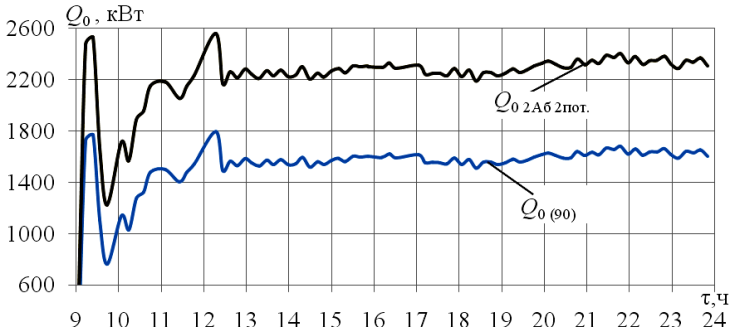
**Рис. 14.16** Значення кількості теплоти  $Q_{г.2А62пот.}$  гарячого теплоносія, трансформованої в холод у запропонованій двопоточній системі утилізації з двома АБХМ і в базовій системі утилізації за даними моніторингу ( $\tau = 0^{00} - 9^{00}$  – АБХМ відключена)



**Рис. 14.17** Значення теплових коефіцієнтів АБХМ  $\zeta_{АБХМ(00)}$  і системи утилізації скидної теплоти ГПД базового варіанту  $\zeta_{CУ6}$ , а також варіанти з двопоточною подачею теплоносія  $\zeta_{CУ(2А6 2пот.)}$  протягом  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011)

Кількість холоду, отриманого для систем утилізації: базової  $Q_{0(90)}$ , а також з двома АБХМ і двопоточною подачею теплоносія  $Q_{0 2А6 2пот.}$ , приведено на рис. 14.18.

Як видно, задіявши другу АБХМ, а також використовуючи двупоточний варіант подачі теплоносія в ГПД, отримують значний приріст в холодопродуктивності.

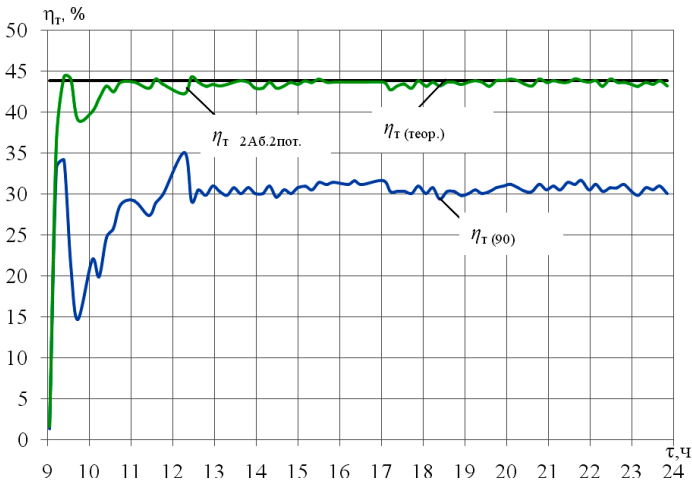


**Рис. 14.18** Кількість холоду, отриманого для систем утилізації: базової  $Q_{0(90)}$  і з двома АБХМ і двопоточною подачею теплоносія  $Q_{0\ 2AB\ 2пот.}$

Ефективність розробленої системи трансформації скидної теплоти ГПД оцінювали також тепловим ККД  $\eta_T$ , який розраховували як відношення частини корисно використаної скидної теплоти  $Q_{г.а.}$ , трансформованої в холод, до загальної кількості теплоти  $Q_{г.с}$  згоряння палива в ГПД J 420 GS потужністю 1400 кВт з урахуванням теплотворної здатності природного газу. Результати розрахунків приведені на рис. 14.19.

В даному варіанті кількість скидної теплоти, трансформованої в холод, близько до загальної кількості теплоти, що отримується від ГПД, тобто в 1-й АБХМ в холод трансформується ту ж кількість тепла, що і в базовому варіанті  $Q_{г.а.}$ , а у 2-й АБХМ кількість трансформованого тепла близько до кількості втрат тепла в базовому варіанті системи трансформації скидного тепла в холод. Тому графік термічного ККД  $\eta_{T2пот}$  запропонованого варіанту системи трансформації скидної теплоти ГПД проходить дуже близько до графіку теоретичного термічного ККД  $\eta_{T(теор.)}$ , представляє собою максимально можливе значення термічного ККД, заявлене фірмою виробником для двигуна Jenbacher марки JMS 420 GS-N.LC GE. Також для порівняння був доданий графік термічного ККД базової системи трансформації скидного тепла в холод  $\eta_{T(90)}$ .

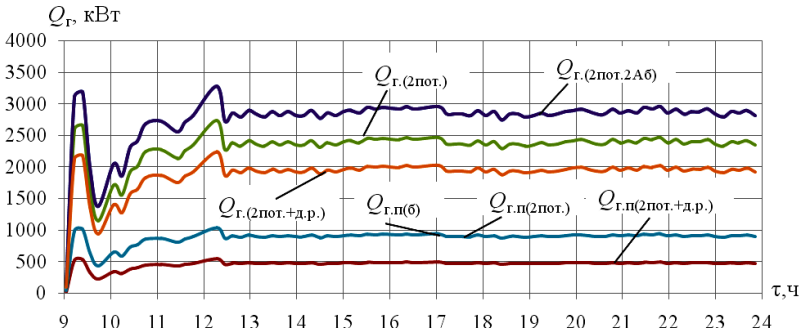
Для простоти порівняння різних варіантів запропонованих систем трансформації теплоти ГПД, заснованих на двопоточній подачі теплоносія, були зроблені узагальнюючі графіки залежностей кількості теплоти, холоду і теплових коефіцієнтів для даних систем.



**Рис. 14.19** Значення термічних ККД системи утилізації скидної теплоти базового варіанту  $\eta_T(90)$  і модифікованої двопоточною системою з двома АБХМ  $\eta_T 2\text{Аб.}2\text{пот.}$ , а також значення  $\eta_T(\text{геор.})$ , заявлене фірмово-виробником двигуна Jenbacher JMS 420 GS-N.LC GE:  $\eta_T(90)$  – при  $t_{\text{г.вих}} = 90^\circ\text{C}$ ;  $\eta_T 2\text{пот.}$  – при  $t_{\text{г.1Аб}} = 95^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{г.2Аб}} = 79^\circ\text{C}$ )

На рис 14.20 представлені графіки залежностей кількості теплоти, використаної в АБХМ і скинутої в атмосферу (втрати тепла), в варіантах з двопоточною подачею теплоносія  $Q_{\text{г.}(2\text{пот.})}$  та  $Q_{\text{г.л.}(2\text{пот.})}$  відповідно, з двопоточною подачею і додатковою витратою в другому контурі теплоносія  $Q_{\text{г.}(2\text{пот.+д.р.})}$  та  $Q_{\text{г.}(2\text{пот.+д.р.})}$  відповідно, з двопоточною подачею теплоносія і двома АБХМ  $Q_{\text{г.}(2\text{пот.}2\text{Аб})}$ . Для останнього варіанту практично відсутні втрати тепла, так як воно використовується в другій низькотемпературній ступені АБХМ.

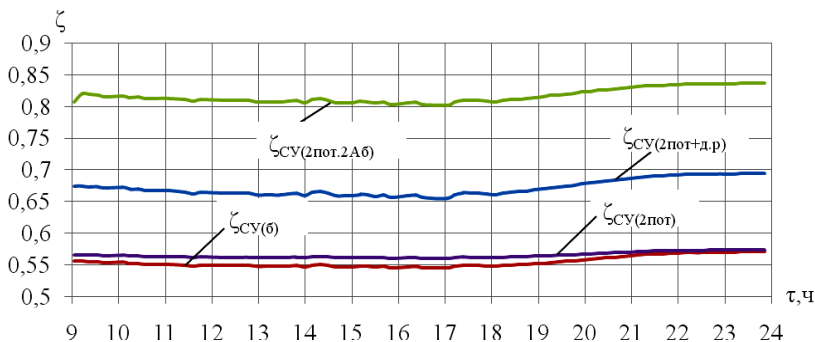
Як видно з графіків, максимальне скорочення втрат досягається у варіанті з двома АБХМ, але якщо потрібно обійтися лише однією АБХМ, то варіант з додатковою витратою в другому потоці теплоносія дає 50% скорочення базових втрат. У звичайному варіанті з двопоточною подачею теплоносія скорочення втрат не спостерігається, тому графік втрат для базового і двопоточного загальний  $Q_{\text{г.л.}(2\text{пот.})} = Q_{\text{г.л.}(б)}$ .



**Рис. 14.20** Значення кількості теплоти гарячого теплоносія для варіантів: базового  $Q_{г(б)}$ , модифікованого двопоточного  $Q_{г(2пот)}$ , двопоточного з додатковою витратою в другому потоці  $Q_{г(2пот+д.р)}$  і двопоточного з двома АБХМ  $Q_{г(2пот.2АБ)}$  когенераційних модулів ГПД, також втрат тепла в базовому варіанті  $Q_{г.п(б)}$ , в модифікованому двопоточному  $Q_{г.п(2пот)}$  і двухпоточном з додатковою витратою в другому потоці  $Q_{г.п(2пот+д.р)}$ .

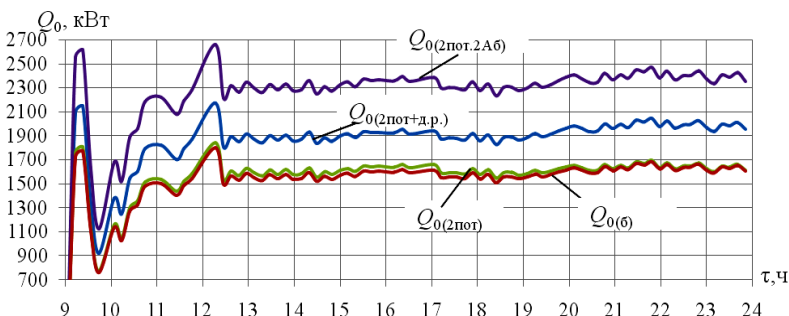
Значення теплових коефіцієнтів наведених вище систем утилізації скидної теплоти показані на рис. 14.21 для варіантів з двопоточною подачею теплоносія  $\zeta_{CY(2пот.)}$ , з двопоточною подачею і додатковою витратою в другому контурі теплоносія  $\zeta_{CY(2пот.+д.р.)}$ , а також з двопоточною подачею теплоносія і двома АБХМ  $\zeta_{CY(2пот.2АБ)}$ .

Тепловий коефіцієнт кожної системи відображає її ефективність. Як видно, за рахунок більш високої температури теплоносія  $t_r = 95^\circ\text{C}$  в порівнянні з базовим значенням  $t_r = 90^\circ\text{C}$  тепловий коефіцієнт збільшується з 0,55 до 0,57 (приблизно на 3...4%) при незмінних втратах тепла в системі. Система з двопоточною подачею і додатковою витратою, скорочуючи втрати тепла на половину в порівнянні з базовою системою утилізації, має тепловий коефіцієнт 0,67...0,69 (вище базового приблизно на 20...25%). І відповідно найбільш ефективна система утилізації з двопоточною подачею теплоносія і двома АБХМ при практично відсутніх втратах має близький до самої АБХМ тепловий коефіцієнт 0,80...0,84.



**Рис. 14.21.** Значення теплових коефіцієнтів для варіантів систем утилізації скидного тепла: базового  $\zeta_{CU(б)}$ , модифікованого двопоточного  $\zeta_{CU(2пот)}$ , двопоточного з додатковою витратою в другому потоці  $\zeta_{CU(2пот+д.р.)}$  і двопоточного з двома АБХМ  $\zeta_{CU(2пот.2АБ)}$  когенераційних модулів ГПД

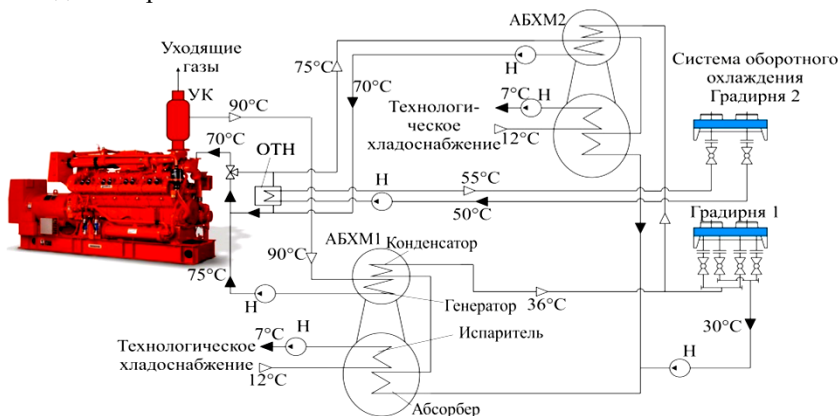
Також на рис. 14.22 наведені узагальнюючі значення кількості холоду, одержуваного в варіантах: з двопоточною подачею теплоносія  $Q_{0(2пот.)}$ , з двопоточною подачею і додатковою витратою в другому контурі теплоносія  $Q_{0(2пот.+д.р.)}$ , з двопоточною подачею теплоносія і двома АБХМ  $Q_{0(2пот.2АБ)}$ , а також для порівняння значення холодопродуктивності базової системи утилізації  $Q_{0(б)}$ .



**Рис. 14.22.** Значення холодопродуктивності для варіантів систем утилізації скидного тепла: базового  $Q_{0(б)}$ , модифікованого двопоточного  $Q_{0(2пот)}$ , двопоточного з додатковою витратою в другому потоці  $Q_{0(2пот+д.р.)}$  і двопоточного з двома АБХМ  $Q_{0(2пот.2АБ)}$  когенераційних модулів ГПД

### 14.3. Системи двоступеневої трансформації скидної теплоти ГПД в АБХМ

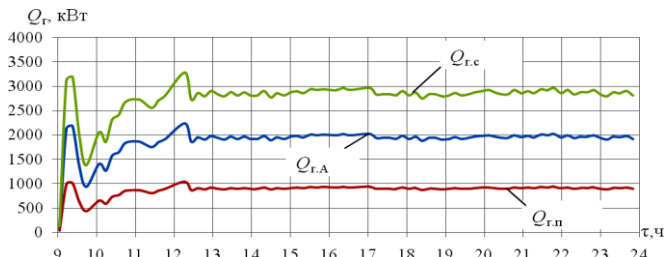
Двоступенева система трансформації скидної теплоти являє собою систему з послідовно підключених по теплоносію двох АБХМ: перша – високотемпературний ступінь АБХМ1, яка, як і в базовому варіанті, використовує теплоносій відразу після ГПД з температурою  $t_r = 90^\circ\text{C}$ , і друга – низькотемпературний ступінь АБХМ2, яка використовує теплоносій після АБХМ1 першого ступеня з температурою  $t_r = 75 \dots 78^\circ\text{C}$ , так як перша АБХМ в змозі трансформувати в холод тільки різницю температур по теплоносію  $\Delta t_r = 15 \dots 13^\circ\text{C}$ . Така система дозволяє ступінчасто охолоджувати теплоносій до необхідної температури  $t_r = 70^\circ\text{C}$  [4]. Схема системи наведена на рис. 14.23.



**Рис. 14.23. Схема системи двоступеневої трансформації скидної теплоти когенераційного модуля ГПД JMS 420 GS:**

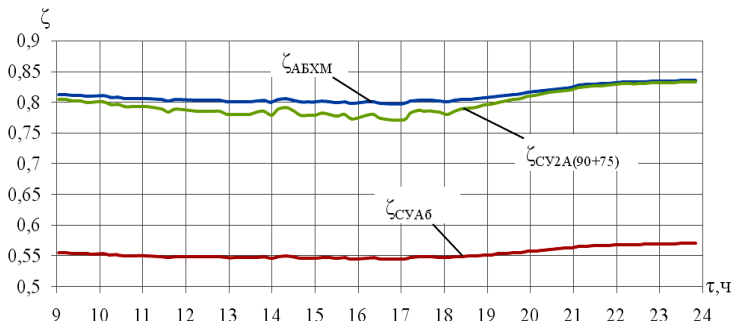
УК – утилізаційний котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; Н – насос; градирня 2 – аварійного скидання тепла

Значення загальної (сумарної) кількості теплоти  $Q_{г.с}$  гарячого теплоносія, що подається від ГПД, теплоти, трансформованої в холод в АБХМ1 першого ступеня,  $Q_{г.А}$ , і в АБХМ2 другого ступеня,  $Q_{г.А2} = Q_{гп}$ , яка використовує надлишкову (після АБХМ1) теплоту гарячого теплоносія  $Q_{гп}$ , яка в базовому варіанті скидається в атмосферу градирню аварійного скидання, для двоступеневої системи утилізації скидного тепла з двома АБХМ протягом 9<sup>00</sup> – 24<sup>00</sup> (28.07.2011) наведена на рис. 14.24.



**Рис. 14.24.** Значення загальної (сумарної) кількості теплоти гарячого теплоносія,  $Q_{г,с}$  когенераційного модуля ГПД, теплоти, трансформованої в холод в АБХМ1,  $Q_{г,А}$ , та в АБХМ2,  $Q_{г,А2} = Q_{г,п}$ , для двоступеневої системи утилізації з двома АБХМ за даними моніторингу 28.07.2011

Значення теплового коефіцієнта АБХМ першого високотемпературного ступеня  $\zeta_{АБХМ}$ , базової одноступінчастої системи утилізації скидного тепла ГПД з однією АБХМ  $\zeta_{СУА6}$  та двоступеневої системи з двома АБХМ  $\zeta_{СУ2А(90+75)}$  протягом  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011) наведені на рис. 14.25.



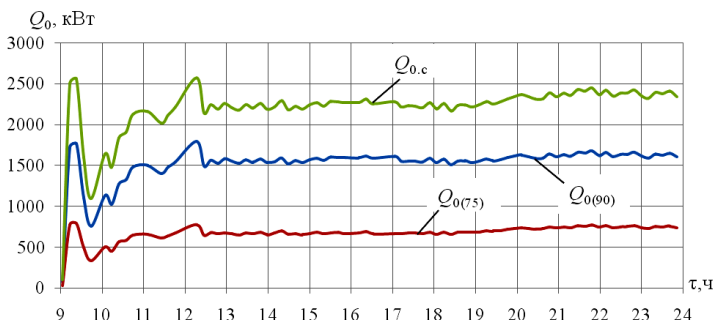
**Рис. 14.25.** Значення теплових коефіцієнтів АБХМ першого високотемпературного ступеня  $\zeta_{АБХМ}$ , базової одноступеневої системи утилізації з однією АБХМ  $\zeta_{СУА6}$  та двоступеневої системи з двома АБХМ  $\zeta_{СУ2А(90+75)}$  за даними моніторингу  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011)

Як видно, значення теплового коефіцієнта двоступеневої системи трансформації скидного тепла в холод з двома АБХМ  $\zeta_{СУ2}$  близькі до величини теплового коефіцієнта АБХМ першого, високотемпературного, ступеня  $\zeta_{АБХМ}$  з температурою 90 °С, тобто до максимально можливої його величини, що свідчить про досить високу ефективність



двоступеневої трансформації скидного тепла. Зменшення значення теплового коефіцієнта  $\zeta_{\text{СУ2}(90+75)}$  порівняно з  $\zeta_{\text{АБХМ}}$  обумовлені тим, що друга, низькотемпературна, АБХМ працює на теплоносії з більш низькою температурою  $t_r$ : приблизно  $75^\circ\text{C}$  проти  $90^\circ\text{C}$ , відповідно і тепловий коефіцієнт другої АБХМ значно нижче його значення для першої, високотемпературної, АБХМ.

Виходячи з розрахованих (рис. 14.25) теплових коефіцієнтів і значень теплових потоків в системі утилізації (рис. 14.24), були визначені поточні значення сумарної холодопродуктивності  $Q_{0,c}$  двоступеневої системи трансформації скидної теплоти ГПД і її складових – АБХМ першого, високотемпературного, ступеня  $Q_{0(90)}$  ( $t_r = 90^\circ\text{C}$ ), і другого, низькотемпературного, ступеня  $Q_{0(75)}$  ( $t_r = 75^\circ\text{C}$ ) з використаною в ній теплотою  $Q_{\text{г.п}}$ , яка в базовому варіанті скидалася градирнею в атмосферу, протягом  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011) наведені на рис. 14.26.



**Рис. 14.26.** Значення сумарної холодопродуктивності  $Q_{0,c}$  двоступеневої системи трансформації скидної теплоти ГПД і її складових – АБХМ першого ступеня  $Q_{0(90)}$  ( $t_r = 90^\circ\text{C}$ ) і другого ступеня  $Q_{0(75)}$  ( $t_r = 75^\circ\text{C}$ ) за даними моніторингу  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011)

Очевидно, якщо підвищити температуру теплоносія  $t_r$  на вході АБХМ2 другого ступеня, наприклад до  $t_r = 80^\circ\text{C}$ , то можна отримати дещо більшу холодопродуктивність  $Q_{0,c}$  через зростання теплового коефіцієнта АБХМ2  $\zeta_{\text{СУ2}}$  і, відповідно, загального  $\zeta_{\text{СУ2A}(90+80)}$ .

Принципова схема двоступеневої трансформації теплоти в холод абсорбційною бромістолітєвою холодильною машиною (АБХМ) з використанням бустерного газового котла наведена на рис. 14.27.

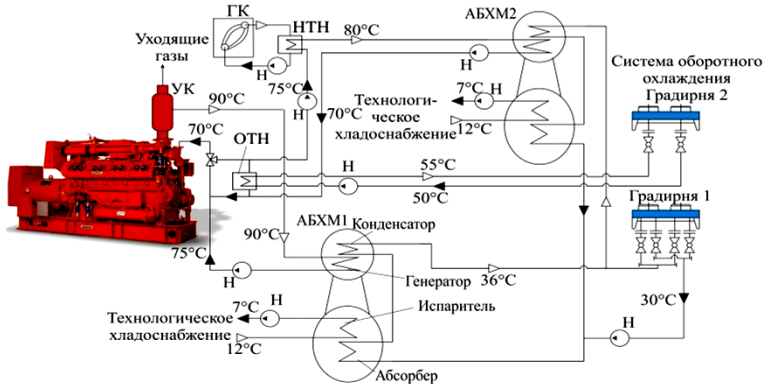


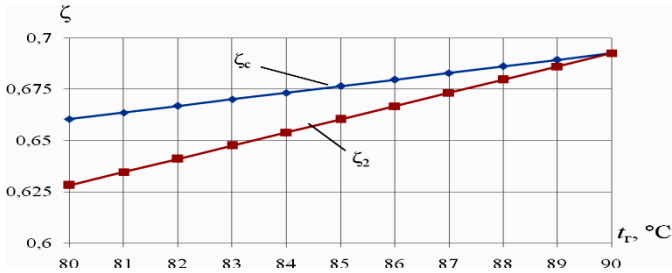
Рис. 14.27. Схема системи двоступенєвої трансформації скидної теплоти ГПД в АБХМ1 і АБХМ2: УК – утилізаційний котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; ГК – газовий котел; НТН – нагрівач теплоносія; Н – насос; градирия 2 – аварійного скидання тепла

Принцип даного варіанту полягає в проміжному нагріванні теплоносія після АБХМ1 перед АБХМ2. Цей варіант є розвитком дослідженого раніше. У такій схемі температура теплоносія на вході в базу АБХМ1 і відповідно її тепловий коефіцієнт залишаються такими, як і в схемі на рис. 3.1,  $t_1=90\text{ }^\circ\text{C}$  та  $\zeta_{\text{АБХМ}} = 0,8$  відповідно, але перед входом в другу АБХМ2 теплоносій нагрівається в газовому котлі (ГК) від температури  $75\text{ }^\circ\text{C}$  до  $80\text{ }^\circ\text{C}$  [5].

На рис. 14.28 наведені значення теплового коефіцієнта АБХМ2  $\zeta_2$  та сумарного теплового коефіцієнта  $\zeta_c$  двох послідовно підключених АБХМ в залежності від температури гарячого теплоносія  $t_r$  на вході в АБХМ2 другого, низькотемпературного, ступеня трансформації тепла.

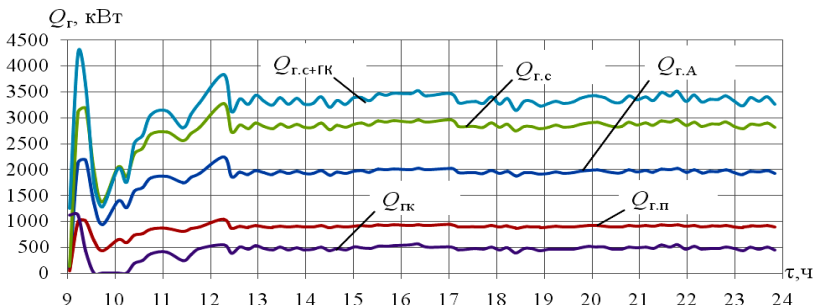
Як видно з рис. 14.28, підвищення температури теплоносія на вході в другу АБХМ2 підвищує загальний тепловий коефіцієнт двох АБХМ, що дає можливість отримати більшу кількість холоду в системі утилізації.

Значення загальної (сумарної) кількості теплоти теплоносія  $Q_{\text{Г.с+ГК}}$  включно з витратами теплоти на нагрів теплоносія в газовому котлі  $Q_{\text{ГК}}$ , теплоти гарячого теплоносія від ГПД  $Q_{\text{Г.с}}$ , теплоти, трансформованої в холод в АБХМ1 першого ступеня,  $Q_{\text{Г.А}}$ , і в АБХМ2 другого ступеня,  $Q_{\text{Г.А2}} = Q_{\text{ГП}}$ , що використовує надлишкову теплоту гаря-



**Рис. 14.28.** Значення теплового коефіцієнта  $\zeta_2$  для АБХМ2 (для базової АБХМ при температурі теплоносія на вході  $90\text{ }^\circ\text{C}$   $\zeta_{\text{АБХМ}} = 0,8$ ) і сумарного теплового коефіцієнта  $\zeta_c$  двох послідовно підключених АБХМ в залежності від температури гарячого теплоносія  $t_g$  на вході в АБХМ2 другого ступеня

чого теплоносія  $Q_{\text{п}}$ , яка в базовому варіанті скидалася в атмосферу градирнею аварійного скидання, і теплоти нагріву теплоносія в газовому котлі  $Q_{\text{ГК}}$  для двоступеневої системи утилізації з двома АБХМ і бустерним газовим котлом (ГК) протягом  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011) наведено на рис. 14.29.

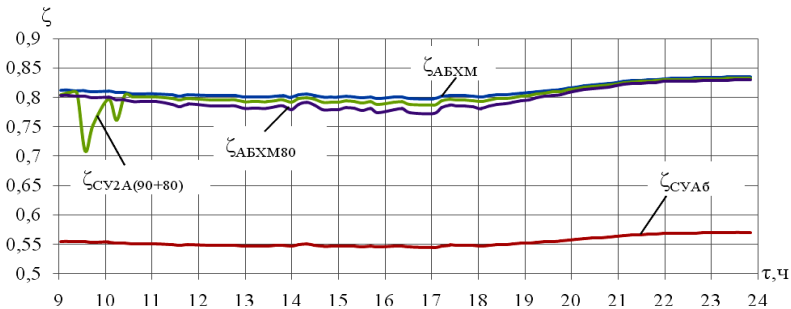


**Рис. 14.29.** Значення загальної кількості теплоти теплоносія  $Q_{\text{Г, c+ГК}}$  включно з витратами теплоти на нагрів теплоносія в газовому котлі  $Q_{\text{ГК}}$ , теплоти гарячого теплоносія від ППД  $Q_{\text{Г, c}}$ , теплоти, трансформованої в холод в АБХМ1,  $Q_{\text{Г, А}}$ , та в АБХМ2,  $Q_{\text{Г, А2}} = Q_{\text{п}}$ , для двоступеневої системи утилізації з двома АБХМ і бустерним газовим котлом за даними моніторингу протягом  $9^{00} - 24^{00}$  (28.07.2011)

Значення теплового коефіцієнта АБХМ першого ступеня  $\zeta_{\text{АБХМ}}$ , базової одноступінчастої системи утилізації з однією АБХМ  $\zeta_{\text{СУА6}}$  і двоступеневої з двома АБХМ і бустерним газовим котлом  $\zeta_{\text{СУ2А(90+80)}}$ ,

а також власне АБХМ2 при температурі на вході  $t_r = 80^\circ\text{C}$  приведені на рис. 14.30

Як видно, значення теплового коефіцієнта двоступеневої системи трансформації скидної теплоти в холод з двома АБХМ і бустерним газовим котлом  $\zeta_{\text{СУ}2\text{A}(90+80)}$  близькі до їх величини для АБХМ першого, високотемпературного, ступеня  $\zeta_{\text{АБХМ}}$  з температурою теплоносія на вході  $90^\circ\text{C}$ , тобто до максимально можливої його величини, що в свою чергу свідчить про високу ефективність двоступеневої трансформації теплоти.



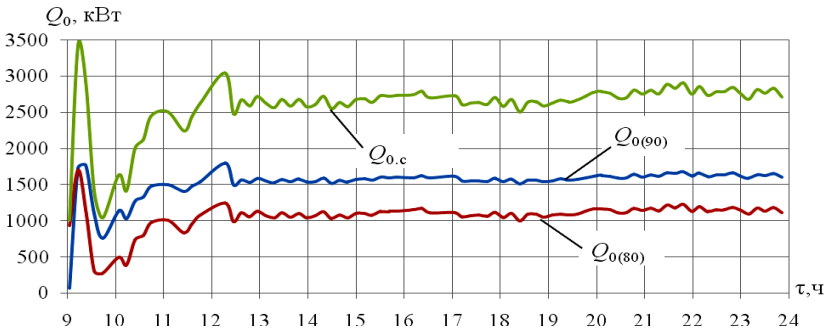
**Рис. 14.30.** Значення теплового коефіцієнта АБХМ першого ступеня  $\zeta_{\text{АБХМ}}$ , базової одноступінчастої системи утилізації з однією АБХМ  $\zeta_{\text{СУ}A6}$  і двоступеневої з двома АБХМ і бустерним газовим котлом  $\zeta_{\text{СУ}2\text{A}(90+80)}$ , а також самої АБХМ2 (при  $t_r = 80^\circ\text{C}$ ) за даними моніторингу (28.07.2011)

Як видно, значення теплового коефіцієнта двоступеневої системи трансформації скидної теплоти в холод з двома АБХМ і бустерним газовим котлом  $\zeta_{\text{СУ}2\text{A}(90+80)}$  близькі до їх величини для АБХМ першого, високотемпературного, ступеня  $\zeta_{\text{АБХМ}}$  з температурою теплоносія на вході  $90^\circ\text{C}$ , тобто до максимально можливої його величини, що в свою чергу свідчить про високу ефективність двоступеневої трансформації теплоти.

Значення сумарної холодопродуктивності  $Q_{0,c}$  двоступеневої системи трансформації скидної теплоти ГПД з бустерним газовим котлом і її складових – АБХМ1 першого ступеня  $Q_{0(90)}$  ( $t_r = 90^\circ\text{C}$ ) та АБХМ2 другого, низькотемпературного, ступеня  $Q_{0(80)}$  ( $t_r = 80^\circ\text{C}$ ) з використанням теплоти  $Q_{\text{Г.п}}$ , яка в базовому варіанті скидалася градирнею в атмосферу, та теплоти  $Q_{\text{ГК}}$ , підведеної до теплоносія в бустерному газовому котлі, протягом  $9^{00} - 24^{00}$  (7.07.2011), а також величини су-

марної холодопродуктивності двоступеневої системи трансформації скидної теплоти ГПД з бустерним котлом  $Q_{0,c}$  наведені на рис. 14.31.

З графіків видно, що холодопродуктивність другої машини має значно більше значення  $Q_{0(80)} = 1000$  кВт в порівнянні з холодопродуктивністю двоступеневої системи без ГК  $Q_{0(75)} = 600$  кВт (рис. 14.26). Такий ефект є наслідком того, що в ГК отримують додаткову кількість тепла, трансформованого в холод, але при цьому треба враховувати витрати палива на газовий котел, що позначається на тепловому коефіцієнті всієї системи трансформації тепла в холод.



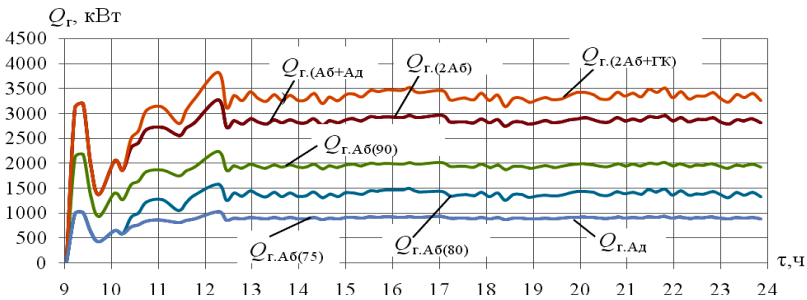
**Рис. 14.31.** Значення сумарної холодопродуктивності  $Q_{0,c}$  двоступеневої системи трансформації скидної теплоти ГПД з бустерним газовим котлом та її складових – АБХМ1 першого ступеня  $Q_{0(90)}$  ( $t_r = 90$  °С) і АБХМ2 другого ступеня  $Q_{0(80)}$  ( $t_r = 80$  °С) за даними моніторингу 7.07.2011

Для простоти порівняння варіантів запропонованих систем трансформації теплоти ГПД, що базуються на ступеневу принципі трансформації теплоти, проаналізовані узагальнюючі графіки залежності кількості теплоти, холоду та теплових коефіцієнтів для даних систем.

На рис. 14.32 наведені графіки залежності кількості теплоти, використаної в тепловикористовуючих холодильних машинах високо- та низькотемпературного ступенів в варіантах з двома АБХМ  $Q_{г.(2А6)}$ , двома АБХМ з проміжним нагріванням теплоносія в газовому котлі (ГК)  $Q_{г.(2А6+ГК)}$ , а також з АБХМ та адсорбційною холодильною машиною (АДХМ), що також була розглянута у дослідженні  $Q_{г.(А6+Ад)}$ . Кількість теплоти, використаної в самих АБХМ1 високотемпературного ступеня  $Q_{г.А6(90)}$  (це ж та кількість теплоти, що утилізує АБХМ базового варіанту), АБХМ2 низькотемпературного ступеня  $Q_{г.А6(75)}$  при температурі теплоносія  $t_r=75$ °С і  $Q_{г.А6(80)}$  при  $t_r=80$ °С відповідно, в АДХМ,

яка є другим, низькотемпературним, ступенем у варіанті з АБХМ та АДХМ  $Q_{Г.АД}$ .

Як видно з графіка, за рахунок використання у всіх варіантах ступеневої трансформації теплоти, теплота, що відходить від ГПД, використовується повністю. У варіанті з двома АБХМ та проміжним нагріванням в ГК кількість теплоти гарячого теплоносія перевищує кількість теплоти, одержуваної від двигуна, на величину нагріву теплоносія в ГК.

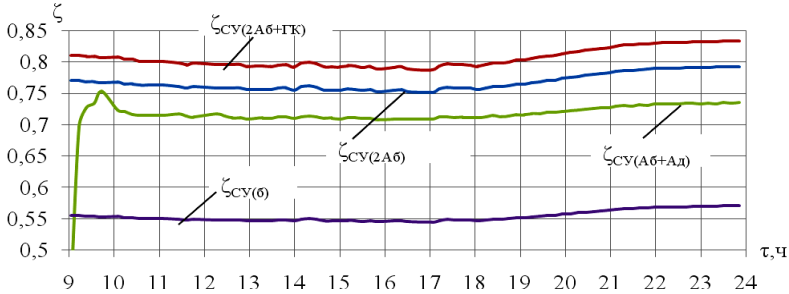


**Рис. 14.32.** Значення кількості теплоти гарячого теплоносія для варіантів: базового  $Q_{Г.Аб(90)}$ ; з двома АБХМ  $Q_{Г(2Аб)}$ ; двома АБХМ та ГК  $Q_{Г(2пот+л.р.)}$ ; з АБХМ та АДХМ  $Q_{Г(Аб+Ад)}$  когенераційних модулів ГПД; самих АБХМ:  $Q_{Г.Аб(75)}$  при температурі теплоносія  $t_r=75^\circ\text{C}$  та  $Q_{Г.Аб(80)}$  при  $t_r=80^\circ\text{C}$  відповідно, та  $Q_{Г.АД}$  для АДХМ

Значення теплових коефіцієнтів наведених вище систем утилізації скидної теплоти для варіантів ступеневої трансформації з двома АБХМ  $\zeta_{СУ(2Аб.)}$ , двома АБХМ та проміжним нагріванням в ГК  $\zeta_{СУ(2Аб+ГК)}$ , з АБХМ та АДХМ  $\zeta_{СУ(Аб+Ад)}$ , а також для базової системи трансформації скидної теплоти з використанням однієї АБХМ  $\zeta_{СУ(6)}$  наведені на рис. 14.33.

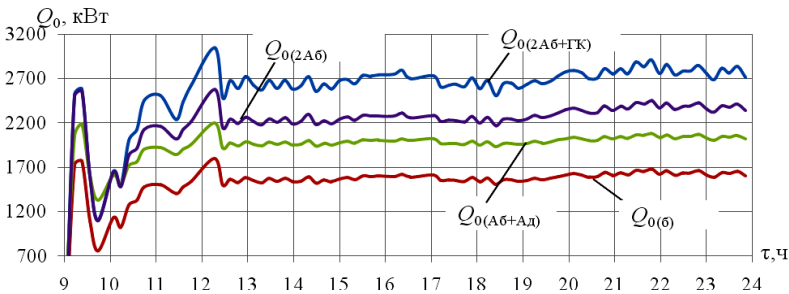
Як видно з графіків, найбільш ефективною є система трансформації скидної теплоти з двома АБХМ та проміжним нагріванням в ГК, так як на відміну від варіанту з двома АБХМ, тепловий коефіцієнт для якого трохи нижче, за рахунок нагріву теплоносія в ГК його температура становить не  $75^\circ\text{C}$ , а  $80^\circ\text{C}$ , а тепловий коефіцієнт другої, низькотемпературної, машини збільшується, відповідно збільшується і тепловий коефіцієнт всієї системи утилізації. Найменш ефективною із запропонованих систем є система трансформації скидної теплоти з АБХМ та АДХМ. У ній через низький тепловий коефіцієнт самої

АДХМ знижується загальний тепловий коефіцієнт системи. Перевагою ж цієї системи є те, що холодильні машини адсорбційного типу призначені для роботи на низьких температурах теплоносія ( $t_r=60\dots75^\circ\text{C}$ ), на відміну від АБХМ, які працюють ефективно при більш високих температурах теплоносія ( $t_r=85\dots110^\circ\text{C}$ ).



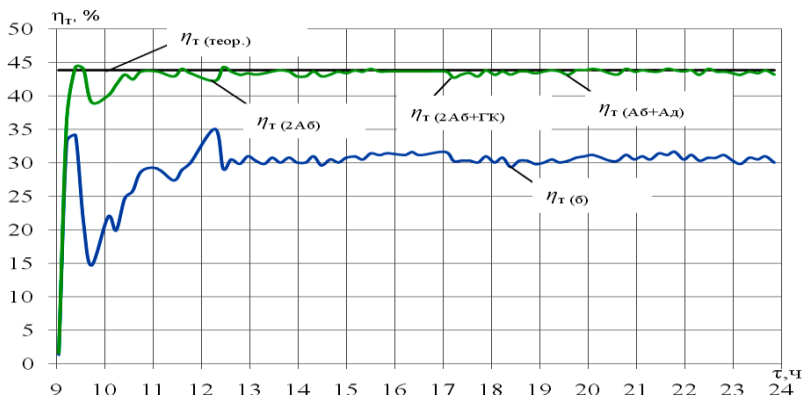
**Рис. 14.33.** Значення теплових коефіцієнтів для варіантів систем утилізації скидної теплоти: базового  $\zeta_{CV(6)}$ , з двома АБХМ  $\zeta_{CV(2AB)}$ , двома АБХМ та ГК  $\zeta_{CV(2AB+GK)}$ , а також з АБХМ та АДХМ  $\zeta_{CV(AB+AD)}$  когенераційних модулів ГПД

Поточні значення кількості холоду, одержуваного в різних варіантах ступеневої трансформації скидного тепла: з двома АБХМ  $Q_{0(2AB)}$ , двома АБХМ і ГК  $Q_{0(2AB+GK)}$ , з АБХМ і АДХМ  $Q_{0(AB+AD)}$ , а також холодопродуктивності базової системи утилізації  $Q_{0(6)}$  наведені на рис. 14.34.



**Рис. 14.34.** Значення холодопродуктивності для варіантів систем утилізації скидного тепла: базового  $Q_{0(6)}$ , з двома АБХМ  $Q_{0(2AB)}$ , двома АБХМ і ГК  $Q_{0(2AB+GK)}$ , а також АБХМ і АДХМ  $Q_{0(AB+AD)}$  когенераційних модулів ГПД

Також розраховані значення термічних ККД запропонованих систем утилізації, наведені на рис. 14.35.



**Рис. 14.35.** Значення термічних ККД систем утилізації скидної теплоти базового варіанта  $\eta_T(90)$ , модифікованого двопоточного з додатковою витратою у другу потію  $\eta_{T2\text{пот.д.р.}}$ , а також ККД, заявлених фірмою-виробником двигуна Jenbacher JMS 420 GS-N.LC GE  $\eta_{T(\text{теор.})}$ ;  $\eta_T(90)$  – при  $t_{T,\text{вих}} = 90^\circ\text{C}$ ;  $\eta_{T2\text{пот.д.р.}}$  – при  $t_{T,\text{А6}} = 85^\circ\text{C}$

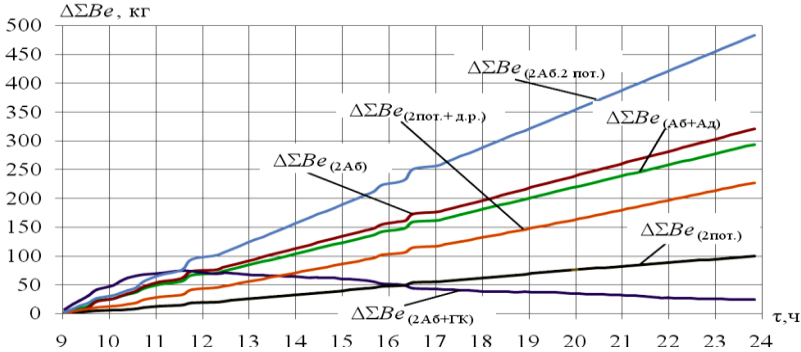
Через те, що всі варіанти базуються на ступеневій трансформації скидної теплоти ГПД з високо- і низькотемпературними ступенями, які передбачають практично повну утилізацію скидного тепла ГПД, то графіки термічних ККД для них збігаються:  $\eta_T(2\text{А6}) = \eta_T(2\text{А6}+\text{ГК}) = \eta_T(2\text{А6}+\text{АД})$  – і близькі до величини теоретичного термічного ККД  $\eta_{T(\text{теор.})}$ , тобто максимально можливого значення термічного ККД, заявленого фірмою виробником для двигуна Jenbacher марки JMS 420 GS-N.LC GE. Також для порівняння показаний графік термічного ККД  $\eta_{T(б)}$  базової системи утилізації.

### 14.4. Оцінка техніко-економічної ефективності реалізації результатів дослідження

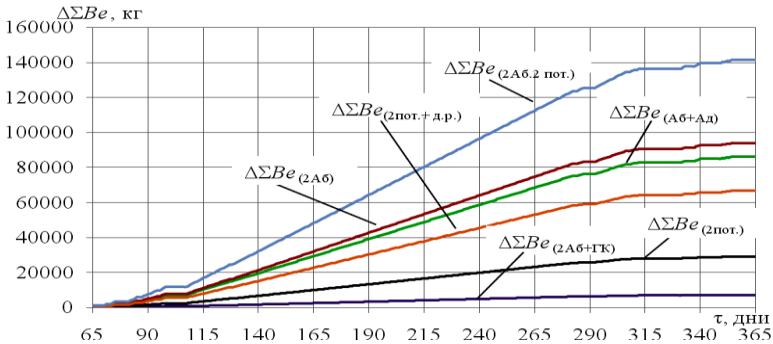
Розрахунок економічного ефекту проводився виходячи з кількості палива, яке потрібно на виробництво електроенергії для живлення парокompресорних холодильних машин (ПКХМ) технологічного призначення холодопродуктивністю, рівною тій, яку отримують за рахунок утилізації втрат теплоти когенераційних ГПД.



Розрахована сумарна економія палива за рахунок зниження енергоспоживання ПКХМ для запропонованих систем утилізації ГД протягом 9<sup>00</sup> – 24<sup>00</sup> (7.07.2011), наведені на рис. 14.36, за рік – рис. 14.37.



**Рис. 14.36.** Значення скорочення витрат палива для запропонованих варіантів з двома АБХМ і ГК  $\Delta\Sigma Ve_{(2AB+ГК)}$ , двопоточного з двома АБХМ  $\Delta\Sigma Ve_{(2AB.2\text{ пот.})}$ , двома АБХМ  $\Delta\Sigma Ve_{(2AB)}$ , 3 АБХМ і АДХМ  $\Delta\Sigma Ve_{(AB+AD)}$ , двопоточного з додатковою витратою у другому потоці  $\Delta\Sigma Ve_{(2\text{ пот.+ д.р.})}$ , двопоточного  $\Delta\Sigma Ve_{(2\text{ пот.})}$  порівняно з базовим на протязі 9<sup>00</sup> – 24<sup>00</sup> (7.07.2011)

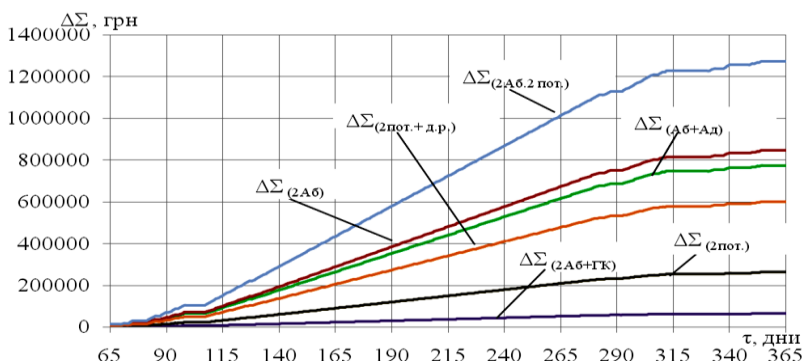


**Рис. 14.37.** Значення скорочення витрат палива для запропонованих варіантів з двома АБХМ і ГК  $\Delta\Sigma Ve_{(2AB+ГК)}$ , двопоточного з двома АБХМ  $\Delta\Sigma Ve_{(2AB.2\text{ пот.})}$ , двома АБХМ  $\Delta\Sigma Ve_{(2AB)}$ , 3 АБХМ і АДХМ  $\Delta\Sigma Ve_{(AB+AD)}$ , двопоточного з додатковою витратою у другому потоці  $\Delta\Sigma Ve_{(2\text{ пот.+ д.р.})}$ , двопоточного  $\Delta\Sigma Ve_{(2\text{ пот.})}$  в порівнянні з базовим на протязі року

Як видно з графіків на рис. 14.36 і 14.37, система утилізації з двома АБХМ і проміжним нагріванням в ГК є найменш економічним варіантом, хоча і дає максимальний приріст холодопродуктивності (рис. 14.36) і найбільше скорочення споживання електроенергії ПКХМ. Це обумовлено додатковими витратами палива на живлення ГК. Реальна економія за рахунок використання такої системи утилізації незначна, але все ж вона забезпечує невелике скорочення витрат палива в порівнянні з існуючою системою утилізації.

У грошовому еквіваленті економія розраховувалася виходячи з тарифу для підприємств, який становить 9 грн за 1 кг природного газу. Дані щодо економії коштів за рахунок застосування розроблених варіантів систем утилізації скидного тепла наведені в графічному вигляді на рис. 13.38.

Розраховано скорочення викидів за рахунок зменшення витрати палива. Розрахунки зроблені на основі даних щодо викидів шкідливих речовин при згорянні природного газу, а саме:  $\text{CO}_2 = 12,9 \text{ кг/т}$  та  $\text{NO}_x = 2,16 \text{ кг/т}$ .



**Рис. 14.38.** Значення економії коштів для запропонованих варіантів з двома АБХМ і ГК  $\Delta\Sigma_{(2Аб+ГК)}$ , двопоточного з двома АБХМ  $\Delta\Sigma_{(2Аб,2пот.)}$ , двома АБХМ  $\Delta\Sigma_{(2Аб)}$ , з АБХМ і АДХМ  $\Delta\Sigma_{(Аб+Ад)}$ , двопоточного з додатковою витратою у другому потоці  $\Delta\Sigma_{(2пот.+д.р.)}$ , двопоточного  $\Delta\Sigma_{(2пот.)}$  в порівнянні з базовим на протязі року

Значення скорочення викидів шкідливих речовин протягом року представлені в табличному вигляді (табл. 14.1).

Таблиця 14.1

**Значення скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу за рік для різних варіантів систем трансформації скидного тепла ГПД**

Запропонована СУ	Викиди CO <sub>2</sub> (кг)	Викиди NO <sub>x</sub> (кг)	Викиди CO <sub>2</sub> та NO <sub>x</sub> в порівнянні з загальними викидами від ГПД(%)
2АБХМ	1513	253	3,47
2 АБХМ + ГК	113	19	0,26
АБХМ+АДХМ	1386	232	3,18
2АБХМ + 2 пот.	2280	382	5,23
2 пот.	468	78	1,07
2 пот. + д.р.	1073	180	2,46

**Висновки**

1. Для вирішення проблеми скорочення втрат теплоти, що відводиться від когенераційних модулів ГПД типової установки автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення технологічного виробництва, запропонований принципово новий підхід, пов'язаний з удосконаленням самої системи відведення теплоти від вузлів ГПД та повернення зворотного теплоносія до ГПД.

2. Розроблені способи трансформації теплоти в холод, що реалізують запропонований підхід у двопоточних системах повернення зворотного теплоносія до ГПД шляхом розділення потоку теплоносія після АБХМ на два, температуру одного з яких, як і в базовому варіанті, попередньо знижують до необхідних для вузлів охолодження ГПД 70°C відведенням теплоти у доквілля градирнею аварійного скидання, а далі з температурою 70°C спрямовують до вузлів охолодження ГПД, а другий потік подають одразу від АБХМ в обхід вузлів охолодження в утилізаційний котел (УК) з підвищеною температурою 75...78°C. Такий спосіб повернення зворотного теплоносія до ГПД двома потоками дозволяє підвищити температуру на виході ГПД (на вході АБХМ) з 90°C до 95°C, що забезпечує підвищення теплового коефіцієнта базової АБХМ з 0,8 до 0,85 і, як наслідок, збільшення її холодопродуктивності на 5% від її базового значення.

3. Запропонований також підхід, який базується на використанні енергетичного обладнання, наявного в базовій установці автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення, яка включає, як правило, декілька ГПД, відповідно й не менше двох АБХМ, одна з яких резервна або ж застосовується при включенні більшої кількості ГПД й відповід-

ному зростанні кількості відведеної теплоти. Перехід до ступеневої трансформації в декількох АБХМ дозволяє трансформувати в холод тепло що в базовому варіанті скидається в атмосферу, скорочуючи до 35% втрат і збільшуючи холодопродуктивність установки до 30% від базового значення. А при використанні проміжного нагріву в ГК холодопродуктивність зростає майже вдвічі

4. Також як розвиток варіанту двопоточної системи утилізації скидної теплоти запропоновано задіяти другу АБХМ в якості другого (низькотемпературного) ступеня трансформації теплоти в холод після базової АБХМ (високотемпературного ступеня), що забезпечує додаткове підвищення холодопродуктивності за рахунок більш глибокої утилізації теплоти (з меншими втратами у довкілля) та підвищення теплових коефіцієнтів АБХМ першого високотемпературного ступеня з 0,8 до 0,85 і другого низькотемпературного ступеня до 0,77 завдяки більш високій температурі теплоносія після УК ГПД і відповідно після базової АБХМ за двопоточного підведення зворотного теплоносія до ГПД.

5. Показано, що запропоновані системи трансформації скидного тепла забезпечують підвищення теплового ККД до понад 40 % і відповідне зростання загального ККД установки.

### Список використаних джерел

1. *Technical Specification Jenbacher gas engines / JMS 420 GS–N.L Natural gas 1.403kW el.* – 4 p.
2. *Catalogue Century Europe IBT: Franz Palla Gasse, 21-20020 Klagenfurt, Austria.* – 28 p. [web: [www.ibteurope.at](http://www.ibteurope.at)].
3. Радченко, А.М. Сумісна робота когенераційного газопоршневого двигуна та абсорбційного термотрансформатора установки автономного енергозабезпечення / А.М. Радченко, А. В. Коновалов, О. В. Остапенко //Зб. наук. праць НУК. – 2013. – Вип. № 5-6. – С.35–40.
4. Радченко, Р.Н. Усовершенствованный когенерационный газопоршневой модуль тригенерационной установки автономного энергообеспечения [Текст] / Р.Н. радченко, А.В. Остапенко, А.А. Лехмус //Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 2(119). – С. 104–107.
5. Радченко, А.Н. Ступенчатая трансформация сбросной теплоты газовых двигателей [Текст] / А.Н. Радченко, С.А. Кантор, А.В. Остапенко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2015. – № 1 (71). – С. 71-74.

## Розділ 15/Chapter 15

# Кондиціювання повітря машинної зали установки автономного енергозабезпечення технологічного виробництва

А.М. Радченко, М.І. Радченко, А.В. Грич

## Air conditioning of engine room of integrated energy system for treatment technology

Andrii Radchenko\*, Mykola Radchenko, Artem Hrych

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The paper is devoted to increasing the efficiency of air conditioning for engine room (ER) of integrated energy system by reducing energy consumption for intake air cooling and fuel consumption of power plant due to zone air supply and engine intake air deep cooling (to 7...10 °C). The methods are developed and rational parameters of processes of engine intake air two-stage cooling and waste heat recovery with cooling supply of high temperature stage of air cooler by absorption lithium-bromide chiller (ALBC) and of low temperature stage of air cooler by cascade absorption-vapour compression chiller (CAVCC) are determined to provide a decrease in specific fuel consumption and increase in engine electrical power output by 2...3 % for gas engine JMS 420.

**Keywords:** *air conditioning, engine room, integrated energy system, heat transformation*

---

\* Corresponding author e-mail: [andrad69@mail.ru](mailto:andrad69@mail.ru)

## Зміст

### Вступ

- 15.1. Підвищення ефективності традиційних систем кондиціонування припливного повітрі машинного відділення
  - 15.1.1. Аналіз резервів підвищення ефективності системи кондиціонування припливного повітря машинного відділення
  - 15.1.2. Визначення раціональних параметрів системи кондиціонування припливного повітря машинного відділення
  - 15.1.3. Розробка зональної системи технічного кондиціонування припливного повітря машинного відділення
  - 15.1.4. Розробка системи кондиціонування з двоступінчастим охолодженням холодоносія
  - 15.1.5. Розробка двоступеневої системи кондиціонування припливного повітря машинного відділення
- 15.2. Розробка двоступеневої системи зонального кондиціонування повітря машинного відділення установки автономного енергозабезпечення технологічного виробництва
  - 15.2.1. Двоступенева система зонального кондиціонування машинного відділення
  - 15.2.2. Двоступенева система зонального кондиціонування машинного відділення з трансформацією теплоти в каскадній абсорбційно-парокомпресорній холодильній машині
  - 15.2.3. Кондиціонування машинного відділення в зимовому режимі
  - 15.2.4. Економічний ефект від застосування системи зонального кондиціонування

### Висновки

#### Список використаних джерел

## Вступ

Проблема кондиціонування повітря машинного відділення (МВ) особливо гостро стоїть для установок автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення на базі газових двигунів (ГД), які випускаються у вигляді когенераційних модулів зі штатними (навішеними на ГД) теп-

лообмінниками відведення їх скидної теплоти на нагрів води. У традиційних системах кондиціонування МВ таких установок охолоджується все припливне повітря, яке надходить до МВ або зон розташування ГД, звідки воно всмоктується наддувним турбокомпресором (ТК) ГД. За теплового клімату через значні теплоприпливи до МВ ззовні, тепловиділення від ГД і навішених на ГД теплообмінників температура повітря на вході ТК ГД висока, що призводить до зростання витрат палива та зменшення електричної потужності. Дефіцит холоду та його нераціональне використання в існуючих системах кондиціонування МВ з охолодженням великих об'ємів припливного повітря, його подачею в МВ, а звідти – на вхід ТК ГД, призводять до підвищення температури повітря на вході ГД і, як наслідок, погіршення їх паливної ефективності та скорочення виробництва електричної енергії. Тому завдання розробки системи кондиціонування припливного повітря МВ установок автономного енергозабезпечення, яка б підтримувала низькі температури повітря на їх вході за мінімальних витрат холоду, є актуальним.

Метою наукового дослідження є розробка тепловикористовуючої системи зонального кондиціонування припливного повітря МВ установок автономного енергозабезпечення з подачею охолодженого повітря на вхід газових двигунів, що забезпечує скорочення енерговитрат на кондиціонування і зменшення споживання палива енергоустановкою за рахунок глибокого (до 7...10 °С) охолодження повітря на вході

Предмет дослідження – процеси тепловологісної обробки припливного повітря в системі кондиціонування машинного відділення установки автономного енергозабезпечення з трансформацією скидної теплоти в холод.

### **15.1. Підвищення ефективності традиційних систем кондиціонування припливного повітря машинного відділення**

#### **15.1.1. Аналіз резервів підвищення ефективності системи кондиціонування припливного повітря машинного відділення**

На рис. 15.1 наведена схема стандартної системи охолодження припливного повітря машинного відділення (МВ) газових двигунів (ГД) в повітроохолоджувачі (ПО) центрального кондиціонера (ЦК) з холодопостачанням від АБХМ, яка трансформує в холод скидну теплоту ГД.





лючення. У зв'язку з цим гостро стоїть питання скорочення витрат холоду для охолодження припливного повітря МВ.

Охолодження повітря машинного відділення вимагає значних енергетичних витрат, що обумовлено численними джерелами тепла в МВ (близько 110 кВт від одного двигуна), великими розмірами МВ і, як наслідок, великими теплоприливами через огороження (близько 70 кВт) та необхідністю охолоджувати великі об'єми вологого припливного повітря.

Недоліком стандартної схеми технічного кондиціювання є нерациональне використання енергії та низька ефективність охолодження повітря, оскільки охолоджене повітря змішується з нагрітим повітрям МВ (тепловологоасиміляція), а на вхід двигуна надходить вже нагріте повітря. Як показали дані моніторингу роботи системи технічного кондиціювання машинного відділення протягом доби 19.06.11, при роботі повітроохолоджувача з температурою охолоджувальної води 7 °С глибина охолодження припливного повітря  $\Delta t_{\text{во}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО}}$  змінюється в діапазоні  $\Delta t_{\text{ПО}} = 6..12$  °С залежно від добових коливань температури зовнішнього повітря та його вологовмісту (рис. 15.2).

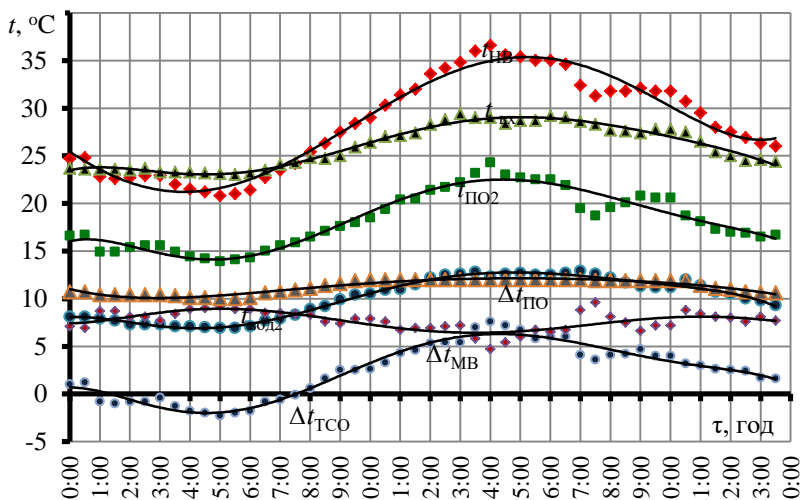


Рис. 15.2. Зміна температури зовнішнього повітря  $t_{\text{НВ}}$ , на вході ТК ГД  $t_{\text{вх}}$ , на виході з ПО  $t_{\text{ПО}}$ , а також зниження температур повітря в ПО  $\Delta t_{\text{во}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО2}}$ , в ТСО  $\Delta t_{\text{ТСО}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{вх}}$  і нагрівання повітря в МВ  $\Delta t_{\text{МО}} = t_{\text{вх}} - t_{\text{ПО2}}$  протягом доби при витраті повітря  $G_{\text{п}} = 60000 \text{ м}^3/\text{год}$

При цьому різниця температур повітря на вході в турбокомпресор ГД і повітря на виході з ПО  $\Delta t_{\text{МО}} = t_{\text{вх}} - t_{\text{ПО}} = 4 \dots 9 \text{ }^\circ\text{C}$  і температура повітря безпосередньо на вході ТК ГД  $t_{\text{вх}} = 24 \dots 29 \text{ }^\circ\text{C}$ , що говорить про низьку ефективність роботи системи кондиціонування, оскільки в ТК ГД надходить повітря з температурою, близькою до температури зовнішнього повітря  $\Delta t_{\text{ТСО}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{вх}} = 2 \dots 7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Від'ємні значення  $\Delta t_{\text{ТСО}}$  (з 1:00 по 7:00 на рис. 15.2) обумовлені відносно низькою температурою зовнішнього повітря в нічний час і значними тепловиділеннями від ГД. Для більш ефективного охолодження МВ необхідно збільшити глибину охолодження  $\Delta t_{\text{ПО}}$  і звести до мінімуму різницю температур  $\Delta t_{\text{МВ}}$ .

Слід зазначити, що низька ефективність тепловикористовуючої системи охолодження (ТСО) повітря МВ обумовлена не тільки змішуванням охолодженого в ПО повітря з нагрітим повітрям МВ на вході ТК ГД, але і малою глибиною його охолодження в самому ПО через великі витрати повітря ( $G_{\text{п}} = 60000 \text{ м}^3/\text{год}$ ):  $\Delta t_{\text{ПО}(60)} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО}} = 10 \dots 12 \text{ }^\circ\text{C}$  в найтепліший час доби (рис. 15.2), що виключає отримання низьких температур на вході ТК навіть при транспортуванні охолодженого повітря до ТК окремим повітропроводом:  $t_{\text{ПО}(60)} = 22 \dots 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 15.1.2. Визначення раціональних параметрів системи кондиціонування припливного повітря машинного відділення

Використовуючи програмне забезпечення фірми-виробника повітроохолоджувача Guntner Product Calculator Customer, 2006.1 / 2005-11-08, PL 1/2006, була розроблена управляюча програма, за допомогою якої проведено моделювання процесів охолодження припливного повітря в ПО з вихідними параметрами зовнішнього повітря ( $t_{\text{НВ}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varphi_{\text{НВ}} = 60\%$ ), холодопродуктивністю  $Q_0 = 350 \text{ кВт}$  і покроково змінюваними витратами припливного повітря. Розрахунки проводилися, починаючи зі стандартної для даного об'єкта витрати припливного повітря  $G_{\text{п}} = 60000 \text{ м}^3/\text{год}$ , з подальшим зниженням витрати кроком в  $5000 \text{ м}^3/\text{год}$ , при цьому фіксувалися параметри повітря на виході з ПО. На рис. 15.3 наведений графік залежності температури повітря на виході з ПО  $t_{\text{ПО}}$ , глибини охолодження повітря  $\Delta t_{\text{во}}$ , втрати тиску в ПО  $\Delta P_{\text{ПО}}$  від витрати припливного повітря  $G_{\text{п}}$  [1].

Розрахунки показали, що використовуючи трирядний ПО Guntner Н/3/104/2.50/2600/А/С/С, який встановлений в штатному кондиціонері МВ, шляхом скорочення витрат припливного повітря з

60000 м<sup>3</sup>/год до 35000 м<sup>3</sup>/год можна збільшити глибину охолодження повітря на 5 °С, а швидкість в живому перерізі ПО зменшити з 2,7 м/с до 1,6 м/с, при цьому витрата повітря 35000 м<sup>3</sup>/год достатня для двох встановлених в МВ ГД (близько 2 кг/с кожного), що становить близько половини загальної витрати повітря, а решта, згідно з нормами технічного кондиціонування суднових МВ, надходить на охолодження елементів машинного відділення з інтенсивним виділенням тепла. Слід зазначити, що подальше скорочення витрати припливного повітря при використанні штатного трирядного повітроохолоджувача буде не раціональним, оскільки не дає суттєвого збільшення глибини охолодження.

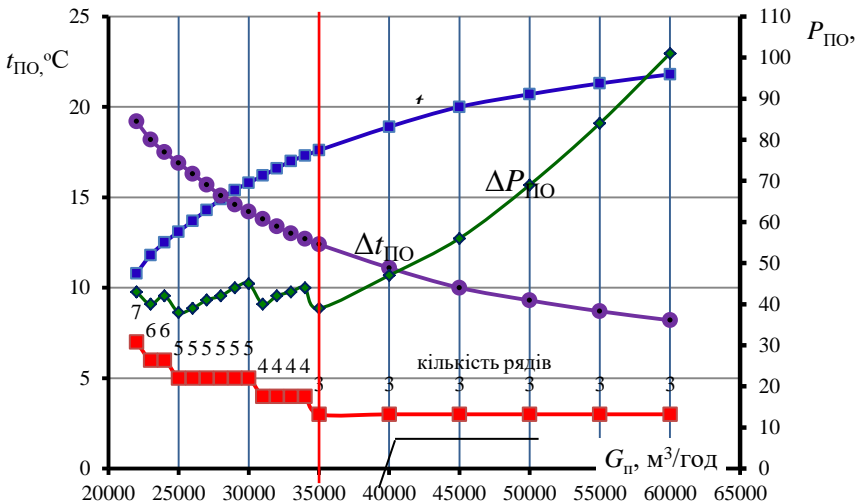
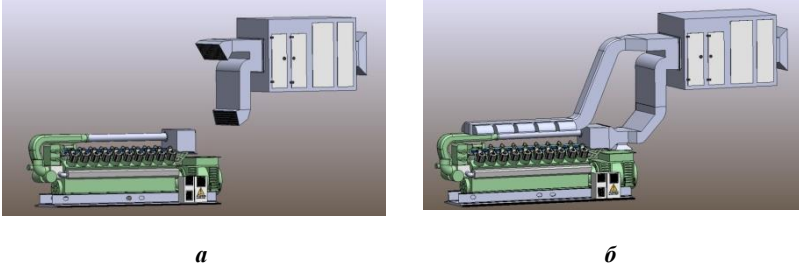


Рис. 15.3. Температура повітря на виході з ПО  $t_{\text{ПО2}}$ , зниження температури в ПО  $\Delta t_{\text{ПО}}$  і аеродинамічний опір ПО  $\Delta P_{\text{ПО}}$  при різній кількості рядів трубок ПО по глибини і витратах повітря  $G_{\text{п}}$  через ПО: температура зовнішнього повітря на вході ПО  $t_{\text{НВ}} = 30$  °С і відносна вологість  $\phi_{\text{НВ}} = 70\%$ ; охолоджуюча вода на вході  $t_{\text{вх.вод}} = 7$  °С

### 15.1.3. Розробка зональної системи технічного кондиціонування припливного повітря машинного відділення

Для підвищення ефективності технічного кондиціонування машинного відділення була розроблена система зонального кондиціонування

припливного повітря. Суть зональної подачі повітря полягає в тому, що на відміну від стандартної схеми подачі охолодженого припливного повітря в машинне відділення безпосередньо з кондиціонера (рис. 15.4,*а*), повітря подається з кондиціонера окремими ізольованими повітропроводами до вузлів з найбільшими тепловиділеннями (електрогенератор, блок циліндрів) і безпосередньо на вхід в турбокомпресор ГД (рис. 15.4, *б*).



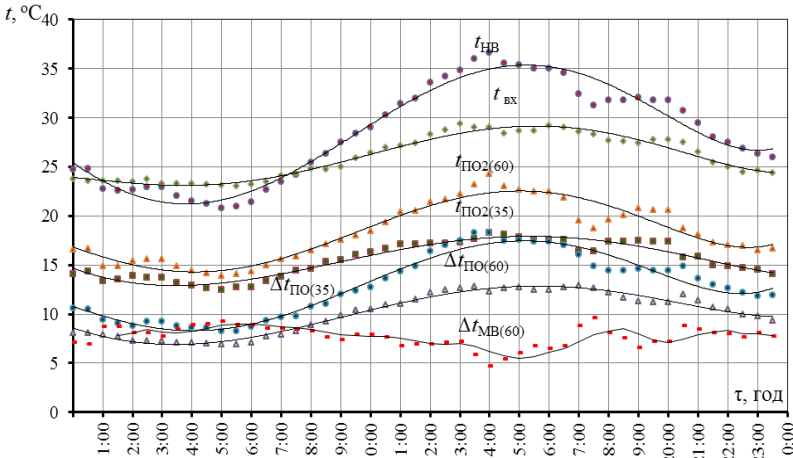
**Рис. 15.4.** Спрощена модель машинного відділення з подачею повітря в об'єм МВ (*а*) і зональною подачею повітря (*б*)

Схема зонального кондиціонування дозволяє ізолювати охолоджене повітря від впливу теплоприпливів через огорожі, тепловиділень всередині машинного відділення і подавати безпосередньо на вхід ТК двигуна охолоджене повітря з кондиціонера, температура якого нижче ніж повітря в МВ. Таким чином забезпечується більш якісна підготовка циклового повітря ГД [5]. Слід зазначити, що використовуючи зональну подачу повітря, можна підтримувати напір повітря при зменшенні його витрати і контролювати кількість повітря, що подається безпосередньо для кожного джерела тепла.

Система зонального кондиціонування дозволяє також подавати припливне повітря байпасним (обвідним) каналом, обминаючи штатний ПО центрального кондиціонера, коли температура зовнішнього повітря 10...15 °С і використання системи кондиціонування не доцільне. Можливість подачі припливного повітря байпасним каналом дозволяє знизити навантаження на вентилятор центрального кондиціонера, яке зумовлене аеродинамічним опором ПО. При цьому споживана електрична потужність вентилятора ЦК скорочується на 15...20%.

Таким чином, зональний метод повітропостачання дозволяє підвищити ефективність системи технічного кондиціонування машинного відділення, використовуючи штатне, вже встановлене в МВ обладнання, не вносячи значних змін в його конструкцію. На рис. 15.5 показаний графік порівняння температур в машинному відділенні при повній

– 60000 м<sup>3</sup>/год і скороченій – 35000 м<sup>3</sup>/год витратах припливного повітря. Подача повітря окремим ізольованим повітропроводом дозволяє скоротити нагрів повітря в МВ  $\Delta t_{\text{МО}} = t_{\text{вх}} - t_{\text{ПО}}$ , оскільки температура на вході в ТК ГД  $t_{\text{вх}}$  буде близька до температури повітря на виході з ПО  $t_{\text{ПО}}$ . Завдяки ізоляції повітря від теплоприпливів в МВ нагрів повітря в МВ при зональній подачі повітря близький до нуля  $\Delta t_{\text{МО}} \rightarrow 0$ , а тому цей параметр на графіку не відображено. Оскільки для зональної повітроподачі  $t_{\text{вх}(35)} \approx t_{\text{ПО}(35)}$ , то і різниця температур між зовнішнім повітрям і повітрям на вході в ТК ГД буде рівною глибині охолодження повітря в ПО  $\Delta t_{\text{ТСО}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{вх}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО}(35)} = \Delta t_{\text{ПО}(35)}$  (для зональної подачі повітря і витрати припливного повітря 35000 м<sup>3</sup>/год).



**Рис. 15.5.** Зміна температури зовнішнього повітря  $t_{\text{НВ}}$ , на вході ТК ГД  $t_{\text{вх}}$ , на виході з ПО  $t_{\text{ПО}2}$ , а також зниження температур повітря в ПО  $\Delta t_{\text{ПО}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО}2}$ , нагрівання повітря в МВ  $\Delta t_{\text{МВ}} = t_{\text{вх}} - t_{\text{ПО}}$  протягом доби при витратах повітря  $G_{\text{п}} = 35000$  і  $60000$  м<sup>3</sup>/год (19.07.2011):  $t_{\text{ПО}2(35)}$ ,  $\Delta t_{\text{ПО}(35)}$  – при  $G_{\text{п}} = 35000$  м<sup>3</sup>/год;  $t_{\text{ПО}2(60)}$ ,  $\Delta t_{\text{ПО}(60)}$  і  $\Delta t_{\text{МВ}(60)}$  – при  $G_{\text{п}} = 60000$  м<sup>3</sup>/год

З рис. 2.5 видно, що скорочення витрати припливного повітря  $G_{\text{п}}$  до 35000 м<sup>3</sup>/год дозволяє підвищити глибину його охолодження в ПО до  $\Delta t_{\text{ПО}(60)} - \Delta t_{\text{ПО}(35)} = 3 \dots 6$  °С (в залежності від температури і вологості зовнішнього повітря протягом доби) і відповідно знизити температуру охолодженого повітря  $t_{\text{ПО}2}$ , використовуючи поверхню стандартного трирядного ПО. Також при зональному повітропостачанні повітря на вхід в ТК ГД надходить з температурою практично рівною

$t_{\text{ПО}(35)} = 13 \dots 17 \text{ }^\circ\text{C}$  на відміну від базового варіанту, де  $t_{\text{вх}} = 21 \dots 29 \text{ }^\circ\text{C}$ , що в свою чергу забезпечує термічно більш стабільну роботу двигуна і скорочує час його роботи в режимі часткових навантажень.

Оцінити витрати холодопродуктивності  $Q_0$  на охолодження повітря в ПО для аналізованих варіантів ТСО при витратах повітря  $G_{\text{п}} = 35000$  і  $60000 \text{ м}^3/\text{год}$  можна за даними на рис. 15.6.

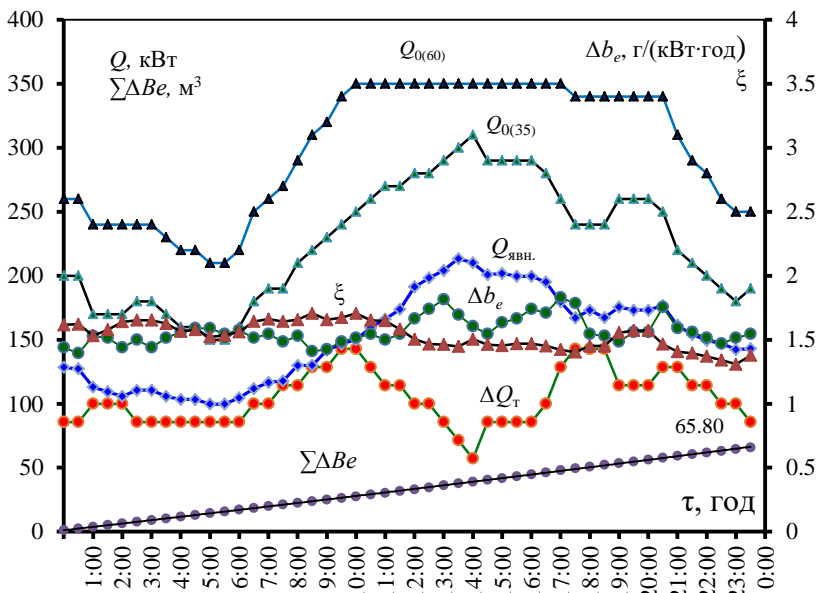


Рис.15.6. Значення витрат холодопродуктивності  $Q_0$  на охолодження повітря в ПО при його витраті  $G_{\text{п}} = 35000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $\Delta b_e$  – скорочення питомої витрати палива,  $\text{г}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ ;  $\Sigma\Delta Be$  – добова економія природного газу,  $\text{м}^3$ ;  $\xi$  – коефіцієнт вологовипадіння

Завдяки раціональним параметрам системи кондиціонування, зокрема, скороченню витрати повітря  $G_{\text{п}}$  практично вдвічі: з  $G_{\text{п}} = 60000$  до  $35000 \text{ м}^3/\text{год}$ , витрати холодопродуктивності  $Q_0$  на більш глибоке охолодження повітря в ПО  $\Delta t_{\text{ПО}(35)} = 8 \dots 17 \text{ }^\circ\text{C}$  (проти  $\Delta t_{\text{ПО}(60)} = 7 \dots 12 \text{ }^\circ\text{C}$  на рис. 2.2) знизилися на  $20 \dots 27\%$ . З графіка видно, що скорочення витрат холоду складає  $\Delta Q_0 = Q_{0(60)} - Q_{0(35)} = 40 \dots 90 \text{ кВт}$ , що особливо важливо в умовах дефіциту холоду для технологічного процесу в денний час з 7:00 до 20:00, коли температура навколишнього повітря найвища, як і потреба в холоді. Там же наведено графік скоро-

чення відповідних витрат тепла на роботу АБХМ  $\Delta Q_T = Q_{T(60)} - Q_{T(35)}$  протягом доби при скороченні витрати охолоджуваного припливного повітря в ПО. Як видно, максимальна економія скидного тепла  $\Delta Q_T$  досягає 140 кВт.

Як відомо, частина холодопродуктивності припливного ПО витрачається на конденсацію водяної пари, що містяться в зовнішньому повітрі, оскільки поверхня ПО має температуру нижче точки роси. Значення  $Q_{\text{явн}(60)}$  і  $Q_{\text{явн}(35)}$  вказують на кількість холоду, що витрачається безпосередньо на охолодження повітря без урахування прихованої теплоти  $Q_{\text{пара}}$  конденсації водяної пари:  $Q_{\text{явн}} = Q_0 - Q_{\text{пара}}$ . Процес вологовипадіння в ПО характеризується коефіцієнтом вологовипадіння  $\xi$ , який являє собою відношення повної кількості теплоти (різниці ентальпій повітря на вході і виході з повітроохолоджувача  $I_{\text{п1}} - I_{\text{п2}}$ ), відведеної від вологого повітря в ПО, до кількості явною теплоти, яка визначається різницею температур по сухому термометру:  $\xi = (I_{\text{п1}} - I_{\text{п2}}) / [c_{\text{вл}}(t_{\text{НВ}} - t_{\text{п2}})]$ ,  $c_{\text{вл}}$  – теплоємність вологого повітря. Величина  $\xi = 1$  відповідає умовам охолодження без випадання вологи.

#### 15.1.4. Розробка системи кондиціонування з двоступінчастим охолодженням холодоносія

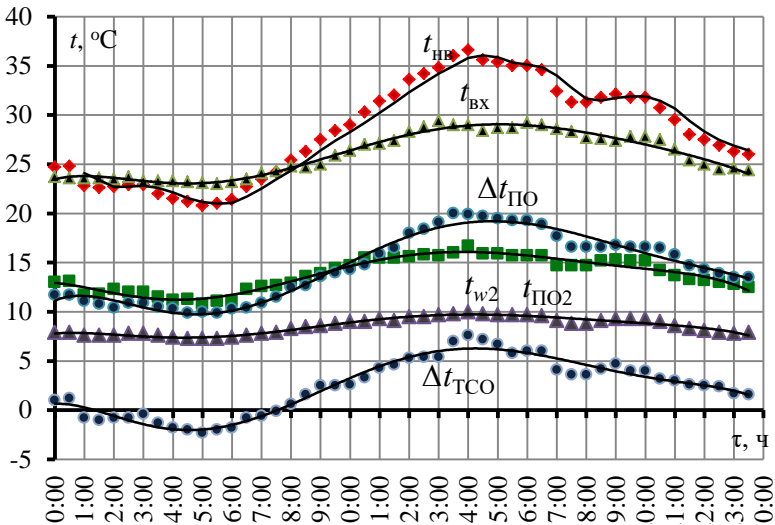
Подальше збільшення глибини охолодження повітря  $\Delta t_{\text{ПО}(35)}$  в штатному трирядному ПО кондиціонера обмежена температурою холодоносія, одержуваного від АБХМ. Температура охолоджуючої води, яка подається в ПО від АБХМ, становить  $t_{\text{в1}} = 7^\circ\text{C}$ , чого недостатньо для того, щоб забезпечити більш низьку температуру циклового повітря на вході ГД  $t_{\text{вх}} \approx 10^\circ\text{C}$ . Тому доцільно використовувати холодоносієм для ПО з більш низькою температурою, відповідно і холодильну машину з більш низькою температурою робочого тіла. Для цього була розроблена схема системи кондиціонування з використанням ПКХМ. Оскільки технологічний процес є більш пріоритетним споживачем електроенергії, що виробляється тригенераційною установкою, то витрати холоду, одержаного в ПКХМ, для охолодження повітря МВ повинні бути якомога нижчими.

Розрахунки показали, що при подачі в ПО холодоносія – води з температурою  $4^\circ\text{C}$ , охолодженої в ПКХМ, її температура на виході з ПО становить  $t_{\text{в2}} = 8 \dots 11^\circ\text{C}$  (рис. 15.8), що потребує великих витрат холодопродуктивності, відповідно і теплового навантаження на ПКХМ. Для того, щоб скоротити теплове навантаження на ПКХМ і споживання електроенергії ПКХМ на кондиціонування, була розроблена схема зі спільним контуром холодоносія для АБХМ і ПКХМ. На рис.



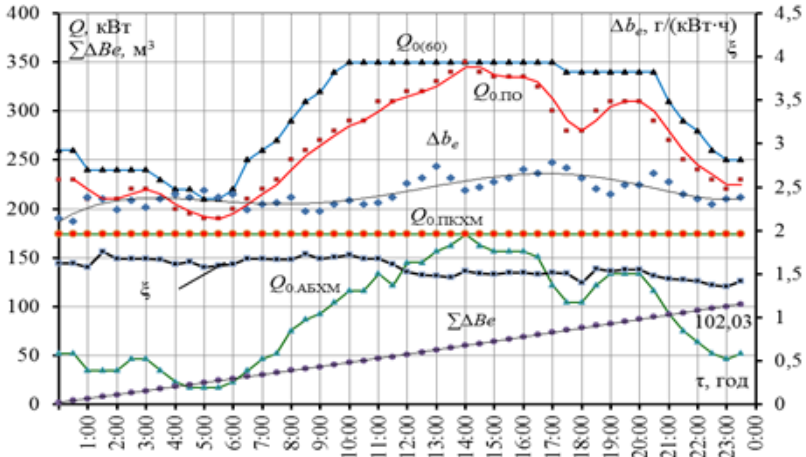


дження повітря в даному випадку становить  $\Delta t_{\text{ПО,ПКХМ}} = 10..20 \text{ }^\circ\text{C}$ , що істотно більше в порівнянні з базовим варіантом  $\Delta t_{\text{ПО,(60)}} = 7 \dots 13 \text{ }^\circ\text{C}$  і з варіантом вдвічі меншої витрати повітря і температурою холодоносія  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $\Delta t_{\text{ПО,(35)}} = 9 \dots 17 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Рис. 15.8.** Зміна температури зовнішнього повітря  $t_{\text{нв}}$ , на вході ТК ГД  $t_{\text{вх}}$ , на виході з ПО  $t_{\text{ПО}}$ , температури води на виході з ПО  $t_{w2}$ , а також зниження температури повітря в ПО  $\Delta t_{\text{ПО}} = t_{\text{нв}} - t_{\text{ПО}}$  протягом доби при витраті повітря  $35000 \text{ м}^3/\text{год}$  і температурі води на вході в ПО  $t_{w2} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$  (19.07.11)

На рис. 15.9 показаний графік зміни холодопродуктивності протягом доби 19.07.11. При цьому теплове навантаження на ПО кондиціонера  $Q_{0,\text{ПО}}$  дорівнює сумі холодопродуктивностей АБХМ і ПКХМ:  $Q_{0,\text{ПО}} = Q_{0,\text{АБХМ}} + Q_{0,\text{ПКХМ}} = 190 \dots 350 \text{ кВт}$ . Як видно, теплове навантаження  $Q_{0,\text{ПО}}$  змінюється протягом доби в залежності від температури зовнішнього повітря і його вологості. При цьому змінюється температура теплоносія на виході з ПО  $t_{w2}$  і, як наслідок, теплове навантаження на АБХМ  $Q_{0,\text{АБХМ}}$ . Найбільш ефективно АБХМ працює в денний час, коли температура зовнішнього повітря висока, відповідно і різниця температур холодоносія на вході і виході з АБХМ становить близько  $\Delta t_{w,\text{АБХМ}} \approx 4 \dots 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Рис. 15.9.** Зміна холодопродуктивності ПО  $Q_{0,ПО}$ , теплового навантаження на АБХМ  $Q_{0,АБХМ}$ , холодопродуктивності ПКХМ  $Q_{0,ПКХМ}$ ,  $\Delta b_e$  – скорочення питомої витрати палива, г/(кВт·ч),  $\Sigma\Delta Be$  – добова економія природного газу, м<sup>3</sup>,  $\xi$  – коефіцієнт вологовипадіння

На відміну від АБХМ холодопродуктивність ПКХМ протягом доби залишається практично незмінною, оскільки не залежить від температури зовнішнього повітря, при цьому витрати холодоносія залишається постійним протягом доби  $G_w = 50 \text{ м}^3/\text{год}$ , так само, як і різниця температур холодоносія  $\Delta t_{w-ПКХМ} = 3...4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тому на рис 15.9 графік зміни холодопродуктивності ПКХМ має вигляд прямої.

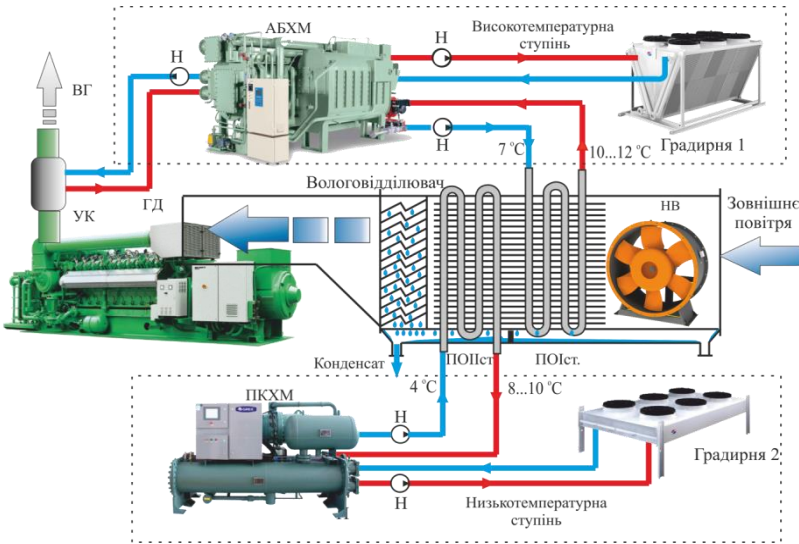
Використання двоступеневої схеми охолодження холодоносія дозволяє підтримувати температуру на вході в ТК ГД на рівні 13 ... 16 °С, яка нижче ніж в базовому варіанті, але чого все-таки не достатньо для більш ефективної роботи ГД. Для більш глибокого охолодження припливного повітря в ЦК необхідно збільшити поверхню (число рядів труб по глибині) ПО в порівнянні з штатним трирядним ПО. При цьому доцільно також максимально задіяти вже встановлену на об'єкті АБХМ, що дозволяє істотно скоротити теплове навантаження на ПКХМ, тим самим більш раціонально використовувати скидну теплоту ГД, що особливо важливо в умовах дефіциту холоду для технологічного процесу.

**15.1.5. Розробка двоступеневої системи кондиціонування припливного повітря машинного відділення**

З метою зниження температури повітря на вході в ГД до  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що забезпечувало б скорочення питомої витрати газу та збільшення електричної потужності, була розроблена схема з двоступінчастим охолодженням припливного повітря.

Особливістю даної схеми є те, що замість одного штатного ПО кондиціонера для охолодження припливного повітря використовуються два послідовно розташованих повітроохолоджувача (рис. 15.10). При цьому перший по ходу повітря  $\text{ПО}_1$  використовує холодоносії від АБХМ з температурою  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а другий  $\text{ПО}_2$  – холодоносії з температурою близько  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  від ПКХМ, тобто процес охолодження припливного повітря здійснюється ступінчато [2].

Дана схема, як і попередня, передбачає використання додаткової ПКХМ, але відрізняється тим, застосовуються окремі контури холодоносія від АБХМ і ПКХМ. Оскільки перший ступінь  $\text{ПО}_1$  дозволяє знизити теплове навантаження на другий ступінь  $\text{ПО}_2$ , то використання спільного контуру холодоагенту для ПКХМ і АБХМ стає нерациональним, тому що температура холодоносія на виході з ПО практично дорівнює температурі холодоносія на виході АБХМ [3].



**Рис. 15.10** Схема двоступеневого охолодження повітря на вході в ГД в АБХМ і ПКХМ

На рис. 15.11 наведені графіки зміни температур протягом доби при використанні двоступеневої системи охолодження. Як видно, температура повітря на виході з першого ступеня ПО<sub>1</sub> становить  $t_{\text{ПО.1ст}} = 13 \dots 18 \text{ }^\circ\text{C}$ , що дорівнює температурі на виході з ПО  $t_{\text{ПО(35)}}$  (при 35000 м<sup>3</sup>/год), так як витрата повітря в обох випадках дорівнює 35000 м<sup>3</sup>/год, при цьому параметри повітроохолоджувача, витрата і температура води на вході ПО<sub>1</sub>, охолодженої в АБХМ, також залишаються без змін. Варто відзначити значні коливання температури в першому ступені ПО<sub>1</sub>:  $\Delta t_{\text{ПО.1ст}} = \Delta t_{\text{ПО.1ст.макс}} - \Delta t_{\text{ПО.1ст.мін}} \approx 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , обумовлені добовими змінами температури зовнішнього повітря  $\Delta t_{\text{НВ}} = \Delta t_{\text{НВ.макс}} - \Delta t_{\text{НВ.мін}} \approx 16 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура повітря на виході з ПО  $t_{\text{ПО.1ст}} = 9 \dots 11 \text{ }^\circ\text{C}$ , при цьому її добові коливання порівняно незначні, що свідчить про відносно стабільне навантаження ПО<sub>2</sub>.

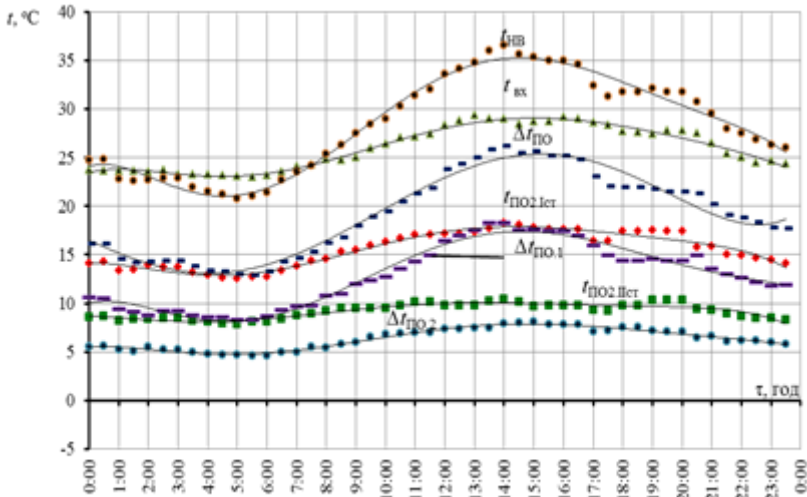


Рис. 15.11. Температури зовнішнього повітря  $t_{\text{НВ}}$ , на вході ТК ГД  $t_{\text{вх}}$  при заборі повітря із МВ, на виході з АБХМ першого ступеня ПО  $t_{\text{ПО.1ст}}$ , зниження температури повітря в АБХМ першого ступеня ПО  $\Delta t_{\text{во.1}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО.1ст}}$ , на виході з ПКХМ другого ступеня ПО  $t_{\text{ПО.2ст}}$ , зниження температури повітря в ПКХМ другого ступеня ПО  $\Delta t_{\text{по.2}} = t_{\text{ПО.1ст}} - t_{\text{ПО.2ст}}$ , повна глибина охолодження припливного повітря в ПО  $\Delta t_{\text{ПО}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{вих.ПО.2}}$  протягом доби при витраті повітря 35000 м<sup>3</sup>/год

Різниця температур зовнішнього повітря і поверхні ПО<sub>1</sub> першого ступеня значно більше, ніж різниця температур на виході ПО<sub>1</sub> першого

ступеня (вході ПО другого ступеня) і температури поверхні ПО другого ступеня, тому глибина охолодження  $\Delta t_{\text{ПО.1}} = 8 \dots 18 \text{ }^\circ\text{C}$  значно більше глибини охолодження  $\Delta t_{\text{ПО.2}} = 4 \dots 8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

На рис. 15.12 наведені графіки зміни холодопродуктивності двоступеневої системи охолодження припливного повітря. Теплове навантаження на перший ступінь ПО<sub>1</sub>  $Q_{0.1\text{ст}} = G_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot \xi_{1\text{ст}} \cdot (t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО.1ст}})$  практично дорівнює  $Q_{0.(35)}$ , так як параметри зовнішнього повітря, його витрата, температура холодоносія ПО залишаються без зміни. Також з графіка видно, що теплове навантаження на ПО першого ступеня  $Q_{0.1\text{ст}}$  значно перевищує значення теплового навантаження ПО другого ступеня  $Q_{0.2\text{ст}}$ , що пояснюється більшою глибиною охолодження в ПО першого ступеня  $\Delta t_{\text{ПО.1}}$  і високим змістом вологи зовнішнього повітря в денний час. При цьому в більш холодну пору навантаження на перший ступінь буде знижуватися аж до її повного відключення.

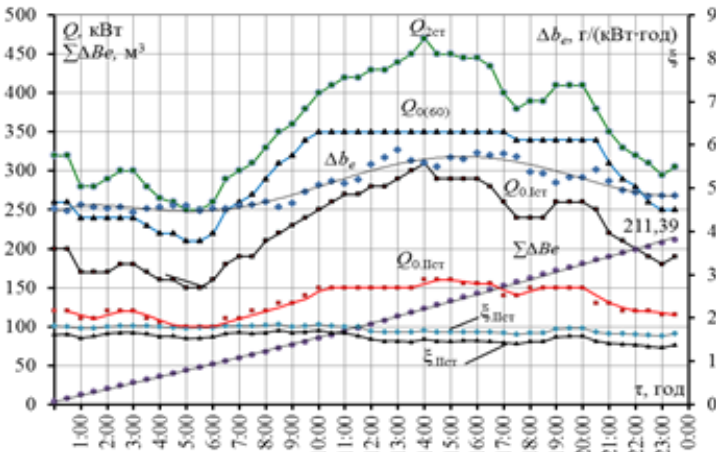


Рис. 15.12 Зміна холодопродуктивності першого ступеня ПО  $Q_{0.1\text{ст}}$ , другого ступеня ПО  $Q_{0.2\text{ст}}$ , сумарної холодопродуктивності ПО  $Q_{0.по}$ :  $\Delta b_c$  – скорочення питомої витрати палива г/(кВт·год),  $\Sigma \Delta V_e$  – добова економія природного газу, м<sup>3</sup>,  $\xi_{1\text{ст}}$  – коефіцієнт вологовипадіння першого ступеня,  $\xi_{2\text{ст}}$  – коефіцієнт вологовипадіння другого ступеня

На рис. 15.13 показана зміна температур зовнішнього повітря  $t_{\text{НВ}}$ , повітря на вході ТК ГД  $t_{\text{вх}}$ , повітря на виході з ПО  $t_{\text{ПО.60}}$  при витраті 60000 м<sup>3</sup>/год, повітря на виході з ПО  $t_{\text{ПО.35}}$  при витраті 35000 м<sup>3</sup>/год, повітря на виході з ПО  $t_{\text{ПО.ПКХМ}}$  при температурі охолоджуючої води

4 °С, повітря на виході з ПО при витраті 35000 м<sup>3</sup>/год у двоступеневій системі охолодження  $t_{\text{ПО.2ст.}}$ .

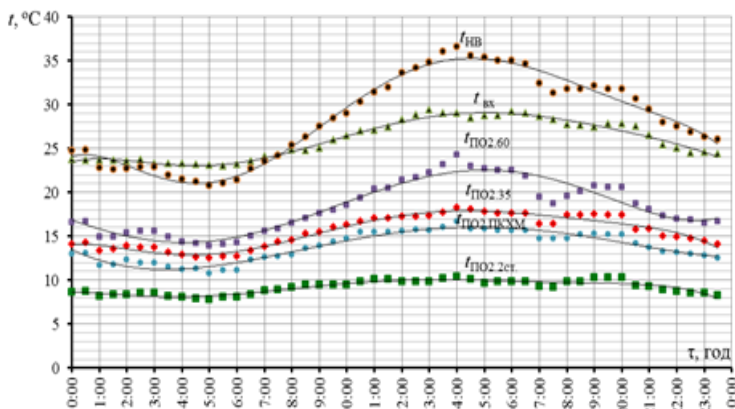


Рис. 15.13. Зміна температури зовнішнього повітря  $t_{\text{НВ}}$ , повітря на вході ТК ГД  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{ПО.60}}$  – повітря на виході з ПО при витраті 60000 м<sup>3</sup>/год,  $t_{\text{ПО.35}}$  – повітря на виході з ПО при витраті 35000 м<sup>3</sup>/год,  $t_{\text{ПО.ПКХМ}}$  – повітря на виході з ПО при температурі охолоджуючої води 4 °С,  $t_{\text{ПО.2ст}}$  – повітря на виході з ПО при витраті 35000 м<sup>3</sup>/год у двоступеневій системі охолодження

Як видно рис 15.13, двоступенева система охолодження припливного повітря дозволяє отримати найбільшу глибину охолодження припливного повітря  $\Delta t_{\text{ПО}} = t_{\text{НВ}} - t_{\text{ПО.2ст}} = \Delta t_{\text{ПО.1}} + \Delta t_{\text{ПО.2}} = 13 \dots 26 \text{ } ^\circ\text{C}$  в порівнянні з усіма представленими схемами. При цьому використання АБХМ як холодильної машини першого ступеня дозволяє знизити навантаження на ПКХМ до 60% в найбільш спекотний час.

## 15.2. Розробка двоступеневої системи зонального кондиціонування повітря машинного відділення установки автономного енергозабезпечення технологічного виробництва

### 15.2.1. Двоступенева система зонального кондиціонування машинного відділення

В результаті аналізу існуючих систем кондиціонування МВ установок автономного енергозабезпечення виявлено резерви підвищення їх

ефективності, розроблені раціональні схемоконструктивні рішення по вдосконаленню енерговитратних традиційних систем охолодження припливного повітря МВ в центральному кондиціонері. Згідно із запропонованим принципом локального повітропостачання глибоке охолодження доцільно тільки для циклового повітря на вході ГД, а до інших джерел тепловиділень в МВ (електрогенератор, головки циліндрів двигуна і т.д.) можна подавати або вентиляційне повітря, або припливне повітря, охолоджуване в кондиціонері, в який подають холодну воду від АБХМ.

Для скорочення витрат холоду на кондиціонування циклового повітря ГД і підвищення ефективності його охолодження була розроблена схема двоступеневого кондиціювання повітря на вході в ГД. Особливістю такої системи є те, що повітря на вході в двигун охолоджується за допомогою окремого двоступеневого повітроохолоджувача [3]. Повітроохолоджувач складається з високотемпературного ступеня  $ПО_{ВТ}$ , в який подається холодоносій з температурою  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  від АБХМ, і низькотемпературного ступеня  $ПО_{НТ}$ , з температурою холодоносія  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  від ПКХМ. При цьому зовнішнє повітря подають вентилятором спочатку в високотемпературний ступінь  $ПОВТ$  (рис. 15.14), де його температура знижується на величину  $\Delta t_{ВО.ВТ} = 12 \dots 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а потім в низькотемпературний ступінь  $ПО_{НТ}$ , де він охолоджується на величину  $\Delta t_{ВО.НТ} = 5 \dots 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , і через вологовідділювач подається на вхід в ГД з температурою  $8 \dots 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

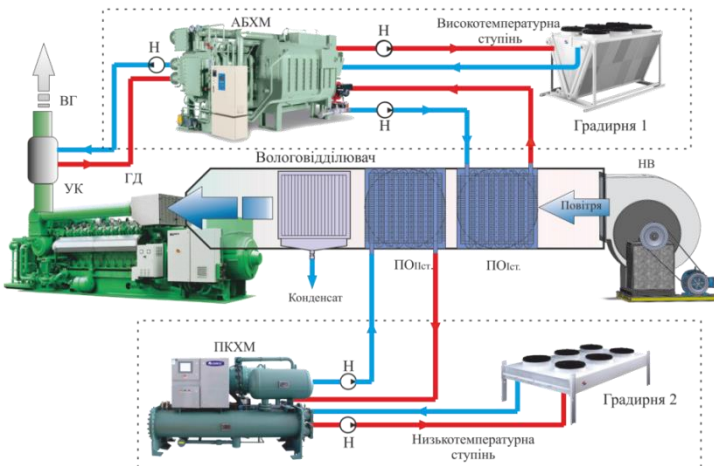


Рис. 15.14. Схема зонального кондиювання з двоступеневим охолодженням припливного повітря

Таким чином, система зонального кондиціонування з двоступеневим охолодженням дозволяє ізолювати циклове повітря двигуна від повітря машинного відділення, що в свою чергу забезпечує збільшення глибини охолодження повітря і скорочення витрат холоду на кондиціонування припливного повітря за рахунок значного скорочення його витрат (від 60000 м<sup>3</sup>/год до 7500 м<sup>3</sup>/год).

Слід зазначити, що зональна система кондиціонування дозволяє також в разі необхідності використовувати в якості циклового повітря ГД зовнішнє неохолоджене повітря, що подається ізольованим каналам на вхід ГД. Пряма подача зовнішнього повітря допустима, коли його температура має прийнятні для більш економної роботи двигуна значення (10...18 °С) та у разі дефіциту холоду для технологічного холодопостачання. У схемі передбачено часткове або повне байпасування повітроохолоджувачів. Байпасування дозволяє скоротити аеродинамічний опір системи на величину  $\Delta P = 280 \dots 490$  Па, зменшуючи тим самим витрата електроенергії вентилятором на 20 ... 25%. На рис. 15.15 показана спрощена модель зональної системи кондиціонування, яка складається з нагнітального вентилятора, систем повітропроводів з обвідним (байпасним) каналом і двоступеневого ПО.

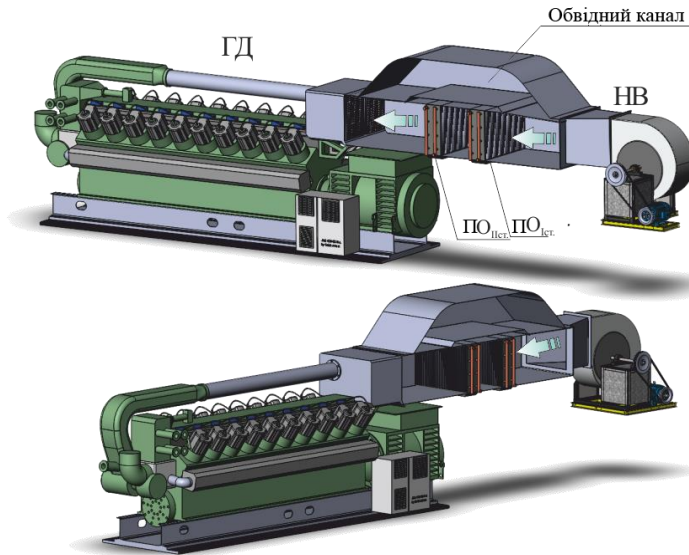
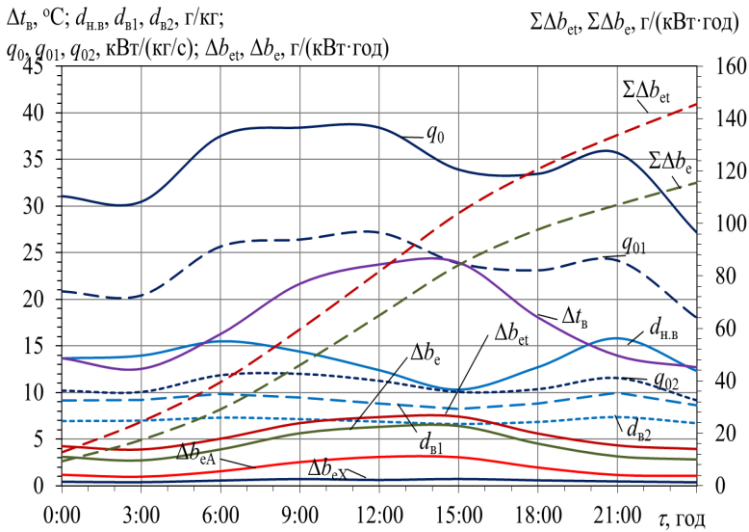


Рис. 15.15. Схема кондиціонування повітря на вході в ГД за допомогою двоступеневого повітроохолоджувача



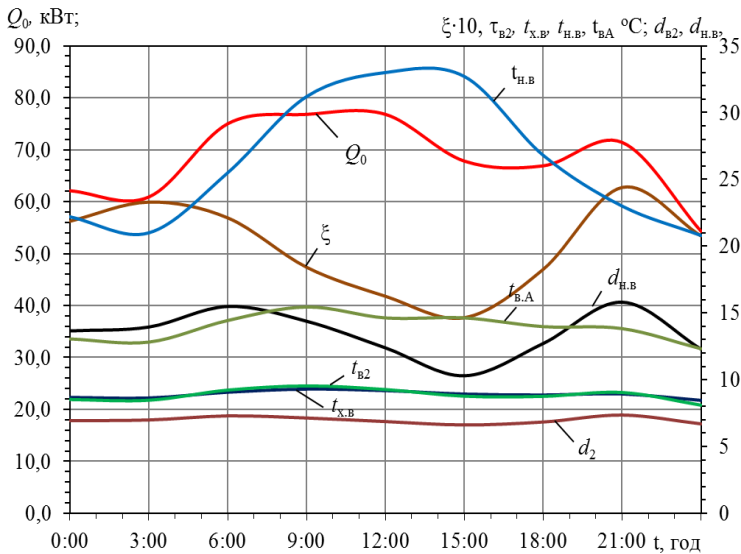
На рис. 15.16 представлені поточні значення зниження температури припливного повітря  $\Delta t_b$  в ПО, вологовмісту повітря на вході ПО  $d_{нв}$ , після високотемпературного ступеня ВО<sub>ВТ</sub>  $d_{в1}$  і низькотемпературного ступеня ПО<sub>НТ</sub>  $d_{в2}$ ; питома теплове навантаження високотемпературного ступеня ВО<sub>ВТ</sub>  $q_{01}$ , низькотемпературного ступеня ПО<sub>НТ</sub>  $q_{02}$  і всього ПО  $q_0$ , зменшення питомої витрати палива за рахунок охолодження повітря на вході  $\Delta b_e$  і сумарне  $\Sigma \Delta b_e$  з урахуванням витрат потужності, відповідно і палива, на подолання аеродинамічного опору ПО, а також  $\Delta b_{et}$  і сумарне  $\Sigma \Delta b_{et}$  без урахування аеродинамічного опору ПО протягом доби 20.07.2009 р Як видно, глибина охолодження припливного повітря становить  $\Delta t_b = 8 \dots 24^\circ \text{C}$ , що говорить про більш високу ефективність охолодження припливного повітря в порівнянні з базовим варіантом і стандартними системами кондиціонування повітря МВ.



**Рис. 15.16.** Поточні значення зменшення температури зовнішнього повітря  $\Delta t_b$  ПО; вологовмісту повітря на вході ПО  $d_{нв}$ , вологовмісту після високотемпературного ступеня ВО<sub>ВТ</sub>  $d_{в1}$  і низькотемпературного ступеня ПО<sub>НТ</sub>  $d_{в2}$ ; питомого теплового навантаження високотемпературного ступеня ВО<sub>ВТ</sub>  $q_{01}$ , низькотемпературного ступеня ПО<sub>НТ</sub>  $q_{02}$  і всього ПО  $q_0$ ; поточне зменшення питомої витрати палива за рахунок охолодження повітря на вході  $\Delta b_e$  і сумарне  $\Sigma \Delta b_e$  з урахуванням аеродинамічного опору

**ПО, а також  $\Delta b_{et}$  і сумарне  $\Sigma \Delta b_{et}$  без урахування аеродинамічного опору  
ПО протягом доби 20.07.2009 р**

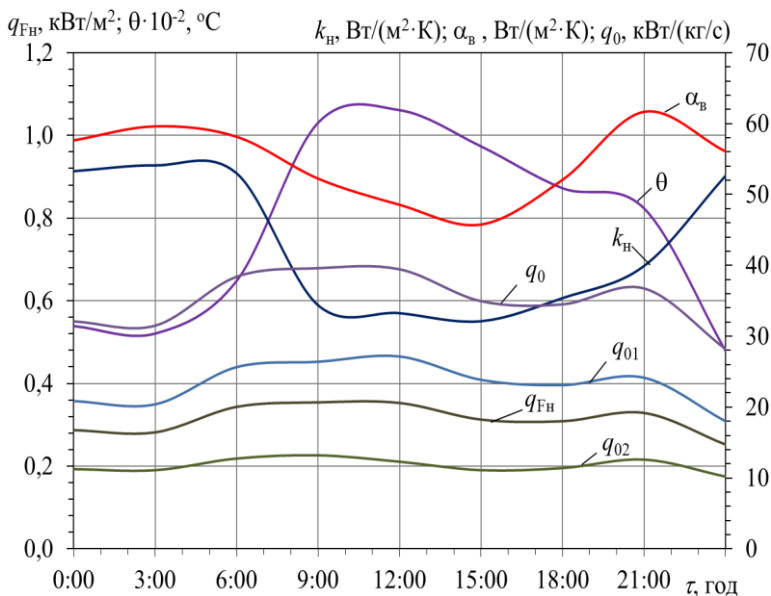
На рис. 15.17 представлені поточні значення температури зовнішнього повітря  $t_{нв}$  на вході в ПО, температури повітря після високотемпературного ступеня ВОвт  $t_{в,А}$  і після низькотемпературного ступеня ПОнт  $t_{в2}$ , температури води на виході з високотемпературного ступеня ВОвт  $t_{х,в}$ , вологовмісту повітря на вході ПО  $d_{нв}$ , низькотемпературного ступеня ПОнт  $d_{в2}$ , теплового навантаження всього ПО  $Q_0$ , середній коефіцієнт вологовипадіння для ПО  $\xi$ , а також витрата відведеної води (конденсату) для всього ПО  $W$  протягом доби 20.07.2009



**Рис. 15.17. Поточні значення температури зовнішнього повітря  $t_{нв}$  на вході в ПО, температури повітря після високотемпературного ступеня ВОвт  $t_{в,А}$  і після низькотемпературного ступеня ПОнт  $t_{в2}$ , температури води на виході з високотемпературного ступеня ВОвт  $t_{х,в}$ ; вологовмісту повітря на вході ПО  $d_{нв}$ , низькотемпературного ступеня ПОнт  $d_{в2}$ ; теплового навантаження всього ПО  $Q_0$ ; коефіцієнта вологовипадіння  $\xi$  протягом доби 20.07.2009 р**

На рис. 15.18 представлені поточні значення щільності теплового потоку, віднесеного до зовнішньої теплообмінної поверхні, для всього

ПО  $q_{Fa}$ , середньологарифмічної різниці температур  $\theta$ , коефіцієнта теплопередачі до зовнішньої теплообмінної поверхні  $k_n$ , коефіцієнта тепловіддачі з боку повітря в "мокрому" режимі охолодження  $k_b$ , питомого теплового навантаження високотемпературного ступеня ВОВт  $q_{01}$ , низькотемпературного ступеня ПО<sub>НТ</sub>  $q_{02}$  і всього ПО  $q_0$  протягом доби.



**Рис. 15.18.** Поточні значення щільності теплового потоку, віднесеного до зовнішньої теплообмінної поверхні для всього ПО  $q_{Fa}$ , середньологарифмічної різниці температур  $\theta$ , коефіцієнта теплопередачі до зовнішньої теплообмінної поверхні  $k_n$ , коефіцієнта тепловіддачі з боку повітря в "мокрому" режимі охолодження  $k_b$ , питомого теплового навантаження високотемпературного ступеня ВОВт  $q_{01}$ , низькотемпературного ступеня ПО<sub>НТ</sub>  $q_{02}$  і всього ПО  $q_0$  протягом доби 20.07.2009 р

Виходячи з наведених вище графіків можна зробити висновок про ефективність застосування системи зонального кондиціонування з двоступеневим охолодженням припливного повітря. При використанні такої системи витрати холоду в найбільш спекотний час доби скорочуються з 350 кВт (в базовій схемі) до 80 кВт. Економія холоду в порівнянні з базовим варіантом складає 35 ... 78%, при цьому добова еко-

номія палива за рахунок більш глибокого охолодження повітря на вході в ТК ГД становить до  $160 \text{ м}^3$ .

### 15.2.2. Двоступенева система зонального кондиціонування машинного відділення з трансформацією теплоти в каскадній абсорбційно-парокомпресорній холодильній машині

Використання ПКХМ як джерела холоду для другого ступеня охолоджувачів повітря на вході двигунів передбачає додаткові витрати електроенергії на привід компресора, що при наявності технологічних виробництв в якості пріоритетних споживачів вкрай проблематично і вимагає раціонального використання холоду. Це питання може бути вирішене шляхом збільшення холодопродуктивності ПКХМ з використанням для цього холоду, одержаного трансформацією скидний теплоти в АБХМ.

З метою зведення до мінімуму споживання дефіцитного холоду від ПКХМ розроблена система двоступеневого охолодження повітря на вході ГД з холодопостачанням другого ступеня ВО<sub>2</sub> від каскадній абсорбційно-парокомпресорній холодильній машині (КАПКХМ). При цьому конденсатор ПКХМ охолоджується холодоносієм від АБХМ [6]. Схема дозволяє підвищити холодопродуктивність компресора і холодильний коефіцієнт ПКХМ (з  $\eta_k = 3,1$  до  $\eta_k = 7$  згідно з характеристиками компресора BITZER 4NES-12Y-40P на рис. 15.19) за рахунок зниження температури конденсації  $t_k$  від  $45^\circ \text{C}$  до  $20^\circ \text{C}$ .

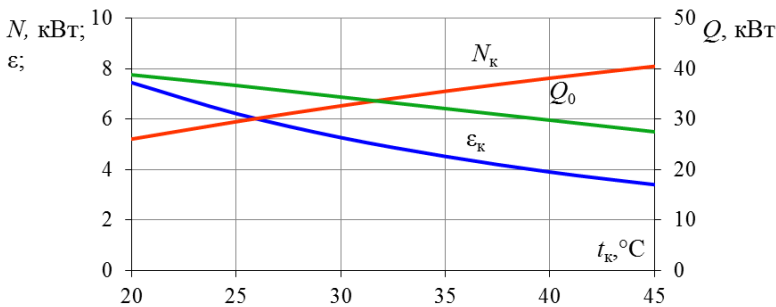


Рис. 15.19. Залежність холодильного коефіцієнта  $\epsilon_k$ , споживаної електричної потужності  $N_k$  компресора BITZER 4NES-12Y-40P, холодопродуктивності ПКХМ  $Q_0$  від температури конденсації  $t_k$



( $Q_{0(60)} \approx 350$  кВт), а навантаження на ПО зменшилося на 76%, що має велике значення в умовах дефіциту холоду на технологічні потреби.

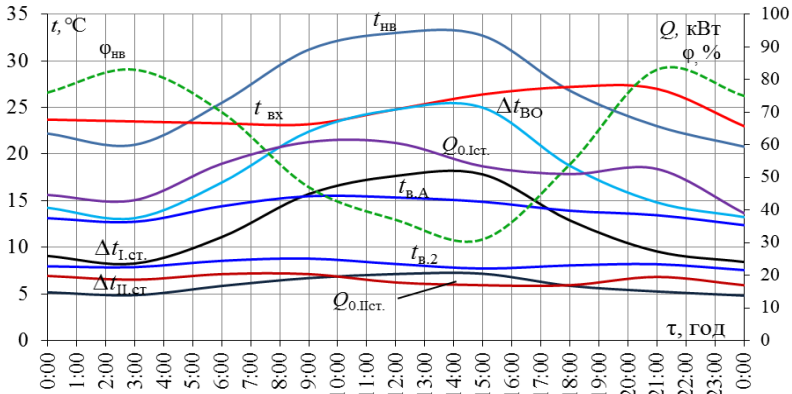


Рис. 15.21. Температури зовнішнього повітря  $t_{нв}$ , на вході ТК ГД  $t_{вх}$  при заборі повітря з МВ, на виході з першого ступеня ПО  $t_{в.а}$ , зниження температури повітря в ПО<sub>1</sub>  $\Delta t_{л.ст} = t_{нв} - t_{в.о2.ст}$ , на виході з другого ступеня ПО<sub>2</sub>  $t_{в.2}$ , зниження температури повітря в ступені ПО<sub>2</sub>  $\Delta t_{п.ст} = t_{в.о2.ст} - t_{в.о2.п.ст}$ , повна глибина охолодження припливного повітря у двоступеневому ПО  $\Delta t_{в.о} = t_{нв} - t_{вих.ПО2}$  протягом доби при витраті повітря 35000 м<sup>3</sup>/ч, зміна холодопродуктивності першого ступеня ПО<sub>1</sub>  $Q_{0.1ст}$ , другого ступеня ПО<sub>2</sub>  $Q_{0.п.ст}$

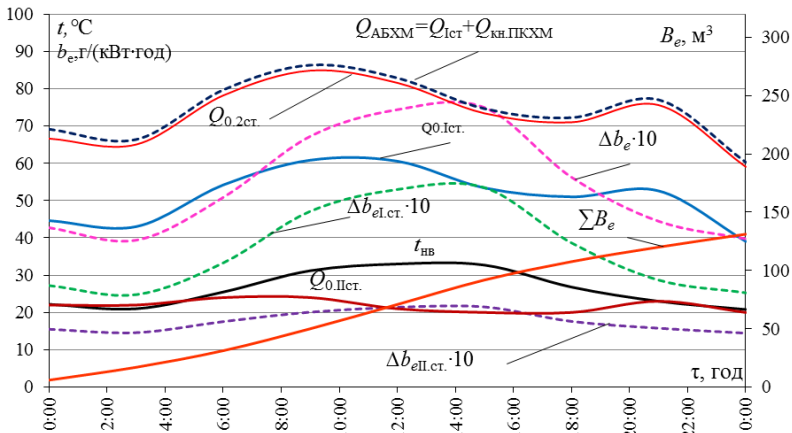


Рис. 15.22. Зміна холодопродуктивності першого ступеня ПО<sub>1</sub>  $Q_{0.1ст}$ , другого ступеня ПО<sub>2</sub>  $Q_{0.п.ст}$ , сумарної холодопродуктивності ПО  $Q_{0.ПО}$ , повного теплового навантаження з урахуванням охолодження конденсатора

ПКХМ  $Q_{\text{каскад}} = Q_{0,2\text{ст}} + Q_{\text{кн}}$ ;  $\Delta b_e$  – скорочення питомої витрати палива, г/(кВт · год),  $\Sigma \Delta B_e$  – добова економія природного газу, м<sup>3</sup>

### 15.2.3. Кондиціонування машинного відділення в зимовому режимі

Розроблено схему раціонального кондиціонування припливного повітря МВ в зимовому режимі. Використання тих же принципів зонального кондиціонування і раціонального вибору параметрів теплообмінного обладнання дає можливість скоротити витрати тепла, яке в зимовому режимі потрібно для опалення адміністративних і виробничих будівель об'єкта і також використовується на технологічні потреби. У розробленій схемі повітря нагрівається не до 20 ... 25 °С, як передбачає стандартна схема, а до 10 °С в окремому повітронагрівачі і подається до ГД за допомогою окремого повітропроводу. У стандартній системі двигун використовує повітря з машинного відділення, де в зимовий час температура повітря 20 ... 25 °С. Тому дана система дозволяє підвищити паливну ефективність двигуна в зимовий час за рахунок зниження температури на вході до 10 °С і знизити витрати тепла на опалення МВ [7, 8].

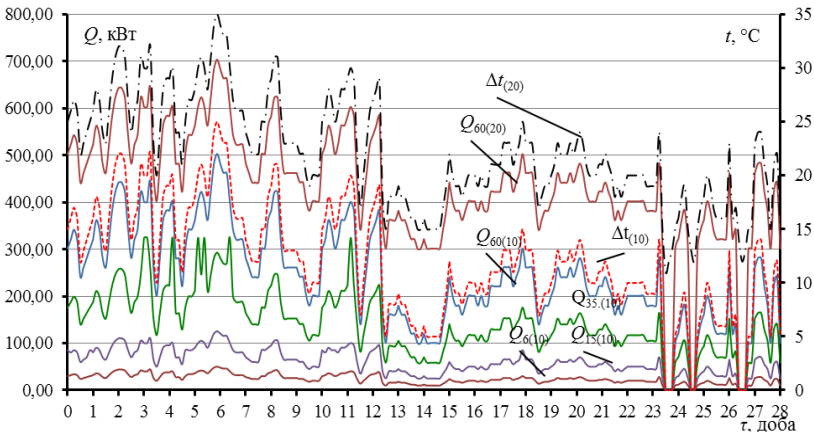
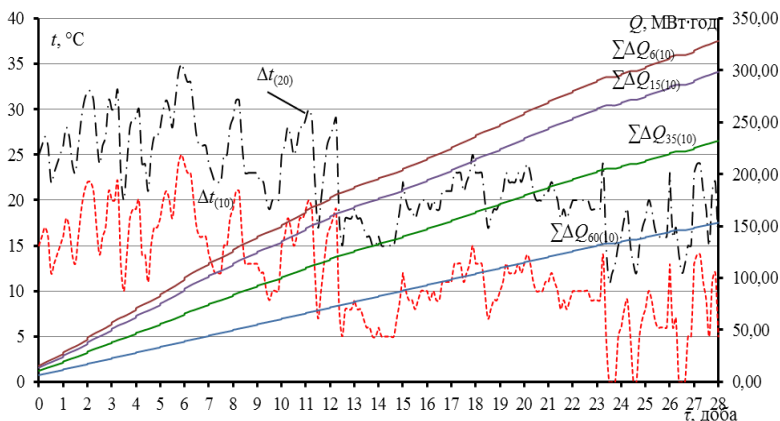


Рис. 15.23. Зміна витрати складної теплоти ГД на опалення МВ за січень 2011:  $\Delta t_{(20)}$  – різниця температур  $\Delta t_{(20)} = t_{\text{МВ}} - t_{\text{НВ}}$  при  $t_{\text{МВ}} = 20$  °С;  $\Delta t_{(10)}$  – різниця температур  $\Delta t_{(10)} = t_{\text{МВ}} - t_{\text{НВ}}$  при  $t_{\text{МВ}} = 10$  °С;  $Q_{60(20)}$  – витрата складної теплоти ГД при витраті повітря 60000 м<sup>3</sup>/год і  $t_{\text{МВ}} = 20$  °С;  $Q_{60(10)}$  – витрата складної теплоти ГД при витраті повітря 60000 м<sup>3</sup>/год і  $t_{\text{МВ}} = 10$  °С;  $Q_{35(10)}$  – витрата складної теплоти ГД при витраті повітря 35000 м<sup>3</sup>/год і  $t_{\text{МВ}} = 10$  °С;  $Q_{15(10)}$  – витрата складної теплоти ГД при витраті

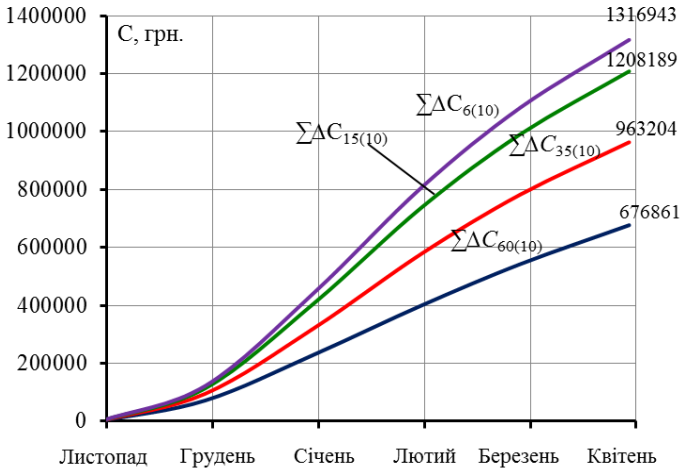
повітря  $15000 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $t_{\text{МВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $Q_{6(10)}$  – витрата скидної теплоти ГД при витраті повітря  $6000 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $t_{\text{МВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$



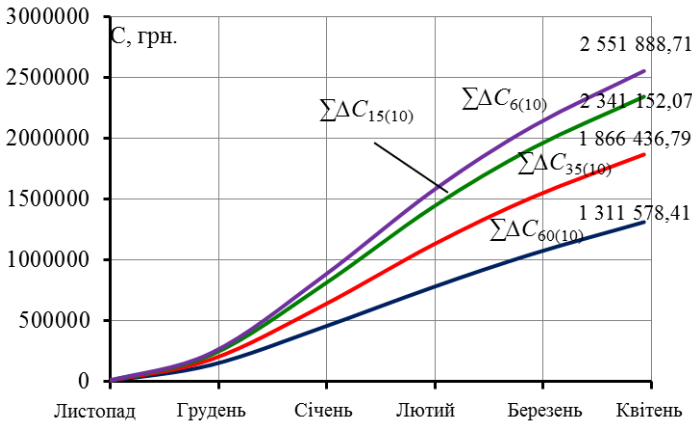
**Рис. 15.24.** Скорочення витрати скидної теплоти ГД протягом січня 2011:  $\Delta t_{(20)}$  – різниця температур  $\Delta t_{(20)} = t_{\text{МВ}} - t_{\text{НВ}}$  при  $t_{\text{МВ}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_{(10)}$  – різниця температур  $\Delta t_{(10)} = t_{\text{МВ}} - t_{\text{НВ}}$  при  $t_{\text{МВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma\Delta Q_{60(10)}$  – скорочення витрат скидної теплоти ГД при витраті повітря  $60000 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $t_{\text{МВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma\Delta Q_{35(10)}$  – скорочення витрат скидної теплоти ГД при витраті повітря  $35000 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $t_{\text{МВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma\Delta Q_{15(10)}$  – скорочення витрат скидної теплоти ГД при витраті повітря  $15000 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $t_{\text{МВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma\Delta Q_{6(10)}$  – скорочення витрат скидної теплоти ГД при витраті повітря  $6000 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $t_{\text{МВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

На графіках рис. 15.25 показані: економія коштів протягом опалювального сезону при використанні запропонованих рішень в порівнянні з базовим режимом опалення МВ: а – при використанні тепла з міської тепломережі; б – при використанні скидної теплоти газового двигуна. Тут  $\Sigma\Delta C_{60(10)}$  – економія палива при нагріванні повітря МВ до  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  і витраті повітря  $60000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $\Sigma\Delta C_{35(10)}$  – економія палива при нагріванні повітря МВ до  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  і витраті повітря  $35000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $\Sigma\Delta C_{15(10)}$  – економія палива при нагріванні наддувного повітря для двох двигунів;  $\Sigma\Delta C_{6(10)}$  – економія палива при нагріванні наддувного повітря для одного двигуна. Дані отримані виходячи з вартості газу для підприємств  $9000 \text{ грн. за } 1000 \text{ м}^3 \text{ газу}$ .





a



б

Рис. 15.25. Економія коштів протягом опалювального сезону при використанні запропонованих рішень, в порівнянні з базовим режимом опалення МВ: а – при використанні тепла з міської тепломережі; б – при використанні скидної теплоти газового двигуна:  $\Sigma \Delta C_{60(10)}$  – економія палива при нагріванні повітря МВ до 10 °С і витраті повітря 60000 м<sup>3</sup>/год;  $\Sigma \Delta C_{35(10)}$  – економія палива при нагріванні повітря МВ до 10 °С і витраті повітря 35000 м<sup>3</sup>/год;  $\Sigma \Delta C_{15(10)}$  – економія палива при нагріванні наддувального повітря для двох двигунів;  $\Sigma \Delta C_{6(10)}$  – економія палива при нагріванні наддувального повітря для одного двигуна

#### 15.2.4. Економічний ефект від застосування системи зонального кондиціонування

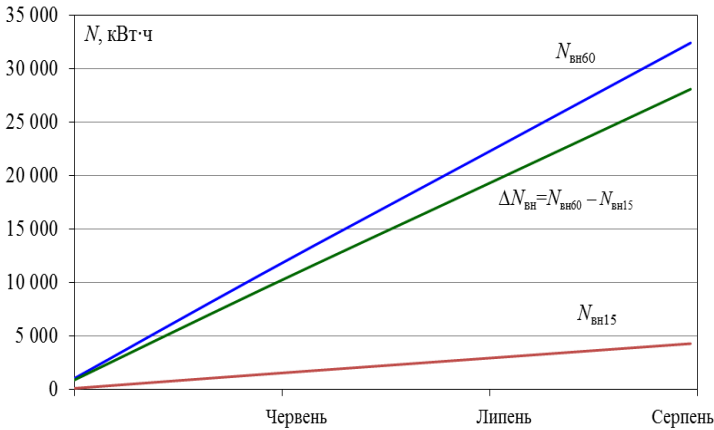
Для роботи двигуна необхідно забезпечувати безперервну подачу припливного повітря, при цьому вентилятор системи кондиціонування працює постійно без відключень. Тому економія електроенергії, споживаної вентилятором, є важливою складовою загальної економії енергії на кондиціонування припливного повітря МВ. Система зонального кондиціонування з окремим двоступеневим ПО дозволяє скоротити споживання електроенергії на привід вентилятора за рахунок скорочення витрати припливного повітря.

В штатній системі кондиціонування встановлений осьовий вентилятор Systemair АХС 1000–10 продуктивністю  $G_{\text{п}} = 60000 \text{ м}^3/\text{год}$  і споживаною електричною потужністю  $N_{\text{вн}60} = 15 \text{ кВт}$ . Повна витрата повітря зональної системи кондиціонування становить  $G_{\text{п}} = 60000 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $15000 \text{ м}^3/\text{год}$  на один двигун (згідно судовим нормам кондиціонування МВ  $7200 \text{ м}^3/\text{ч}$  охолоджуються в ПО і надходить на вхід ГД, інші  $7800 \text{ м}^3/\text{ч}$  використовуються для вентиляції зон тепловиділення ГД). Як вентилятор припливного повітря в зональній системі кондиціонування обраний Systemair АХС 630–9 продуктивністю  $G_{\text{п}} = 16000 \text{ м}^3/\text{год}$  і споживаною електричною потужністю  $N_{\text{вн}15} = 2,2 \text{ кВт}$ . Споживання електроенергії на привід вентилятора скоротилося на  $12,8 \text{ кВт}\cdot\text{год}$  в порівнянні зі стандартною системою кондиціонування.

На рис. 15.26 представлені графіки споживання електроенергії штатним вентилятором центрального кондиціонера  $N_{\text{вн}60}$  і вентилятором зональної системи кондиціонування  $N_{\text{вн}15}$  протягом літнього сезону. З графіка видно, що економія електроенергії  $\Delta N_{\text{вн}} = N_{\text{вн}60} - N_{\text{вн}15}$  становить близько  $27000 \text{ кВт}$  за літній період.

Таким чином, за умови безперервної роботи вентиляторів зональна система кондиціонування зменшення витрати повітря дозволяє скоротити споживання електроенергії на  $70 \dots 80\%$  у порівнянні з базовою системою кондиціонування і на  $0,89\%$  в порівнянні із загальною кількістю електроенергії, що виробляється установкою автономного енергозабезпечення.

Використання системи зонального кондиціонування за рахунок більш глибокого охолодження припливного повітря дозволяє отримати не тільки економію палива, але і приріст генерованої електроенергії. Як показала практика експлуатації установок автономного енергозабезпечення на базі газових двигунів, при зниженні температури припливного повітря на вході ТК ГД на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  приріст виробленої електроенергії становить близько  $0,3\%$ .



**Рис. 15.26.** Споживання електроенергії штатного вентилятора ЦК  $N_{\text{вн60}}$ , вентилятора зональної системи кондиціонування  $N_{\text{вн15}}$ , економія електроенергії на привід вентилятора при використанні зональної системи кондиціонування  $\Delta N_{\text{вн}} = N_{\text{вн60}} - N_{\text{вн15}}$  за літо 2011 р

З огляду на описані вище особливості установок автономного енергопостачання, був проведений розрахунок можливого приросту електроенергії завдяки більш глибокому охолодженню припливного повітря в системі зонального кондиціонування з двоступеневим охолодженням повітря в КАПКХМ. Розрахунок проведено з урахуванням даних метеорологічних служб з кроком 3 години. Була підрахована економія електроенергії за 2011 р.

Як видно з рис. 15.27, за рахунок більш глибокого охолодження припливного повітря на вході в ГД можна отримати приріст електроенергії  $N_{\text{пр.е}} = 0,003 \cdot \Delta t \cdot N_{\text{е.гд}} \cdot \tau - N_{\text{КАПКХМ}}$  до 70 МВт·год за літній сезон з урахуванням витрат на привід компресора КАПКХМ. З огляду на скорочення споживаної на привід вентилятора електроенергії, загальна економія складе близько 98 МВт · год.

Таким чином, за рахунок вищеописаних схем і раціонального підходу до енергоспоживання системи кондиціонування МВ економія по відношенню до загальної кількості виробленої електроенергії за літні місяці становить до 2,1%, а з урахуванням скорочення витрат на привід вентилятора – до 2,8%.

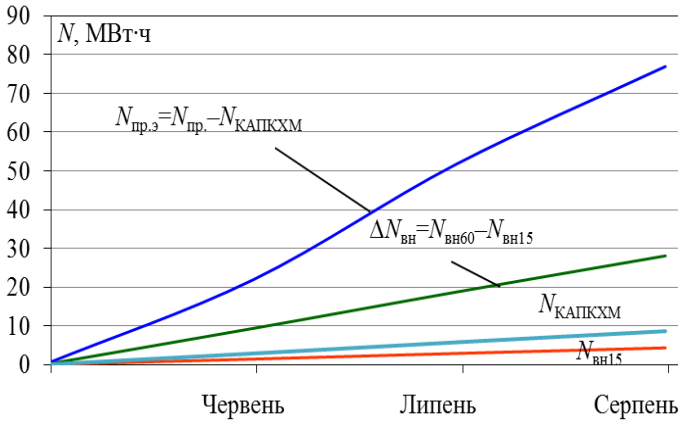
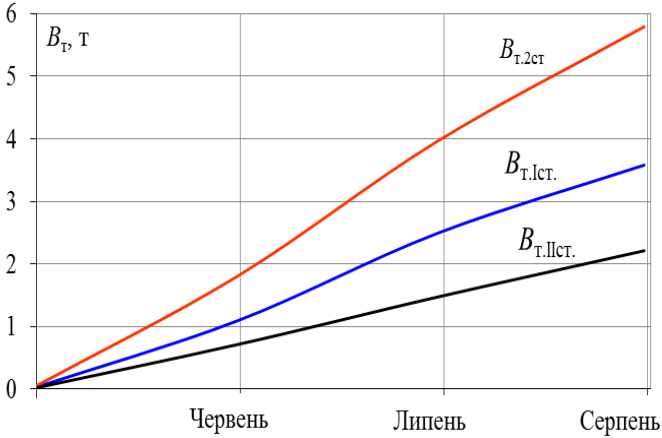


Рис. 15.27. Економія електроенергії за рахунок використання системи зонального кондиціонування  $\Delta N_{\text{вн}} = N_{\text{вн60}} - N_{\text{вн15}}$ , за рахунок двоступеневого охолодження припливного повітря  $N_{\text{пр.е}} = Ne_{\text{гд}} \cdot \tau - N_{\text{КАПКХМ}}$ , витрати електроенергії на привід КАПКХМ  $N_{\text{КАПКХМ}}$ , витрати на привід припливного вентилятора  $N_{\text{вн15}}$

Однією з важливих задач системи зонального кондиціонування є економія палива ГД за рахунок більш глибокого охолодження припливного повітря у двоступеневому ПО. За даними фірм-виробників газових двигунів [7, 8] при зниженні температури повітря на вході в ТК ГД на  $1^\circ\text{C}$  питома витрата палива скорочується на  $\Delta b_e = 0,15 \dots 0,3 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$ .

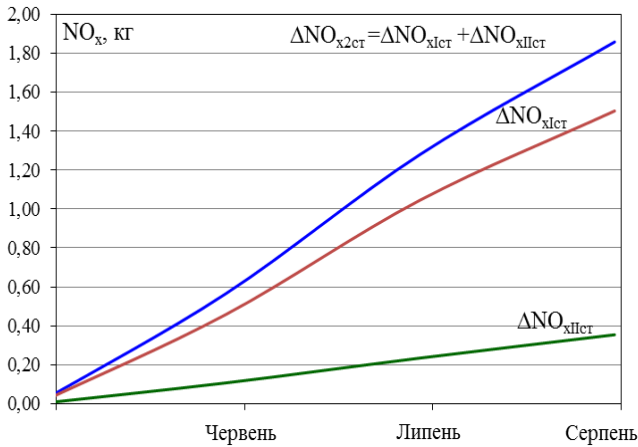
Для оцінки впливу системи зонального кондиціонування припливного повітря МВ на скорочення витрат палива ГД розрахунок був проведений з урахуванням кліматичних умов регіону (Миколаївської обл.), в якому розміщений об'єкт (дані архіву метеорологічних служб за 2011 г, крок вимірювань 3 години), і глибини охолодження припливного повітря в ПО. У розрахунку використовувалося значення скорочення питомої витрати палива  $\Delta b_e = 0,2 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$  на  $1^\circ\text{C}$  глибини охолодження. Витрати на привід компресора КАПКХМ і припливного вентилятора системи зонального кондиціонування в даному розрахунку не враховувалися, оскільки були враховані в розрахунку економії електроенергії. Результати розрахунку наведені на рис 15.28.



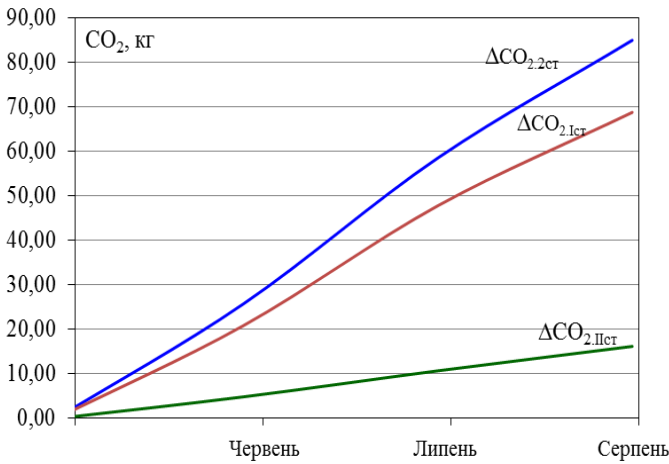
**Рис. 15.28. Економія палива ГД за рахунок охолодження припливного повітря в високотемпературному ступені ПО  $B_{T.1ст}$ , низькотемпературному ступені  $B_{T.1ст}$  і загальна економія палива  $B_{T.2ст}$  за літній місяці 2011 року (Миколаївська обл.)**

Система зонального кондиціювання з двоступеневим охолодженням повітря і застосуванням КАПКХМ дозволяє скоротити загальну витрату палива на  $B_{T.2ст}/B_{T.ГД} = 1,03\%$ , за рахунок високотемпературного ступеня ПО  $B_{T.1ст}/B_{T.ГД} = 0,64\%$ , за рахунок низькотемпературного ступеня ПО  $B_{T.1ст}/B_{T.ГД} = 0,4\%$ . Загальна економія палива за літній сезон становить  $B_{T.2ст} \approx 6000$  кг або  $7500\text{м}^3$  природного газу.

Екологічний розрахунок скорочення шкідливих викидів  $\text{NO}_x$  і  $\text{CO}_2$  проводився з використанням даних фірми-виробника ГД GE Jenbacher про викиди [8]. Розрахунок базується на пропорційності скорочення шкідливих викидів кількості зекономленого палива ГД. В результаті отримано, що кількість  $\text{NO}_x$  і  $\text{CO}_2$  скоротилося на  $1,03\%$  по відношенню до базового варіанту. На рис 15.29 представлені результати розрахунків очікуваного екологічного ефекту від розроблених рішень.



*a*



*b*

Рис. 15.29. Зниження шкідливих викидів в атмосферу за рахунок скорочення витрати палива ГД: а – викиду  $\text{NO}_x$  за допомогою першого ступеня ПО  $\Delta\text{NO}_{x1\text{ст}}$  і другого ступеня ПО  $\Delta\text{NO}_{x11\text{ст}}$ , а також загальне скорочення  $\Delta\text{NO}_{x2\text{ст}} = \Delta\text{NO}_{x1\text{ст}} + \Delta\text{NO}_{x11\text{ст}}$ ; б – викиду  $\text{CO}_2$  за допомогою першого ступеня ПО  $\Delta\text{CO}_{2.1\text{ст}}$  і другого ступеня ПО  $\Delta\text{CO}_{2.11\text{ст}}$ , а також загальне скорочення  $\Delta\text{CO}_{2.2\text{ст}} = \Delta\text{CO}_{2.1\text{ст}} + \Delta\text{CO}_{2.11\text{ст}}$

## ВИСНОВКИ

Виявлено та реалізовано резерви скорочення енерговитрат на кондиціонування повітря МВ ГД, обумовлених охолодженням великих витрат припливного повітря МВ, і підвищення паливної ефективності когенераційних ГД за рахунок охолодження їх циклового повітря.

Розроблена вдосконалена система кондиціонування повітря МВ газових двигунів ГД з використанням існуючого теплообмінного обладнання традиційного центрального кондиціонера, що забезпечує високу енергоефективність комплексу "МВ+ГД" і високу паливну ефективність ГД за рахунок зонального повітропостачання і глибокого охолодження повітря на вході ГД.

Розроблено способи раціональної організації процесів тепловолісної обробки припливного повітря МВ ГД в охолоджувачах традиційних систем кондиціонування повітря з центральним кондиціонером, що забезпечують глибоке охолодження повітря на вході ГД і зонально-го повітропостачання двигунів при мінімальних енерговитратах

Вперше розроблений спосіб двоступеневого охолодження припливного повітря МВ ГД трансформацією скидної теплоти ГД в каскадній абсорбційно-парокомпресорній холодильній машині (КАПКХМ) з холодопостачанням високотемпературного ступеня ПОВТ від АБХМ і низькотемпературного ступеня ПО<sub>НТ</sub> від КАПКХМ, який забезпечує скорочення витрат теплової енергії палива на 10 ...15% за рахунок глибокого (до 7 ... 10 °С) охолодження повітря на вході ГД в порівнянні з його охолодженням в АБХМ до 15 °С.

Визначено раціональні параметри тепловикористовуючої двоступеневої системи зонального кондиціонування повітря на вході установки автономного енергозабезпечення (питомі холодопродуктивності високо- і низькотемпературного ступенів повітроохолоджувача, температури повітря на виході), що забезпечують скорочення питомої витрати палива на 2 ... 3 г/(кВт · год) і підвищення електричної потужності ГД на 2 ... 3%.

## Список використаних джерел

1. Радченко, А. М. Охолодження приточного повітря машинного відділення газових двигунів тригенераційної установки [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – № 6. – С. 20–25.

2. Радченко, А. М. Ступенчатое охлаждение приточного воздуха машинного отделения автономной электростанции [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич, Б.С. Портной// Холодильна техніка та технологія. - 2016. - Т. 51, Вип. 1. - С. 71-7.

3. Радченко, Н.И. Повышение эффективности системы оборотного охлаждения газопоршневых двигателей тригенерационной энергетической установки [Текст] / Н.И. Радченко, А.В. Коновалов, А.В. Грич // *Зб. наук. праць НУК*. – 2015. – Вип. № 5 (461). – С.81–85.

4. Радченко, Р.Н. Двухступенчатое охлаждение приточного воздуха газовых двигателей тригенерационной установки [Текст] / Р.Н. Радченко, А.В. Грич // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 6. – С. 103–107.

5. Радченко, Н.И. Повышение эффективности системы оборотного охлаждения газопоршневого двигателя [Текст] / Н.И. Радченко, Л.Бохдаль, А.В. Грич, И.П. Есин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 4 (121). – 113 с. С. 103–107.

6. Морозюк, Л. И. Термодинамический анализ каскадных холодильных машин с R744в верхнем каскаде/ Л. И. Морозюк // *Холодильна техніка та технологія*. – 2016. – Т. 52, Вип. 1. – С. 12-17.

7. Jenbacher модельный ряд 4 [Электронный ресурс] GE Power Generation – Режим доступу:  
[https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en\\_US/documents/product/Reciprocating%20Engines/Jenbacher/Type%204/jenbacher-type-4-fs-ru-2016.pdf](https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/product/Reciprocating%20Engines/Jenbacher/Type%204/jenbacher-type-4-fs-ru-2016.pdf)

8. Technical Specification Jenbacher gas engines / JMS 420 GS–N.L Natural gas 1.403kW el. – 4 p.



**Розділ 16/Chapter 16**  
**Технології на основі термогазодинамічного ефекту для енергозабезпечення переробних виробництв**

Д.В. Коновалов

**Technologies based on the termogasdynamical effect for processing industries of power supply**

Dmitriy Konovalov\*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The schemes of integrated power supply plant for food industry using energy-saving technologies based on the termogasdynamical effect, that provides an increase of the pressure of the steam (gas) flow with the evaporative fluid which is injected into superheated steam (gas) flow with subsonic speed have been developed and analyzed. The main technical and economic parameters of developed technologies: fuel consumption of 5...10 g/(kW·h) for plants based on the internal combustion engines and gas turbine engines.

**Keywords:** *termogasdynamical effect, termopressor, engine, gas turbine unit, waste heat recovery, cyclic air*

---

\* Corresponding author e-mail: *andrad69@mail.ru*

## **Зміст**

### **Вступ**

**16.1. Особливості процесів трансформації теплоти за наявності термогазодинамічного ефекту**

**16.2. Системи терморесорного охолодження наддувного повітря ДВЗ**

**16.3. Терморесорні системи в газотурбінних установках з турбінами перерозширення**

**16.4. Застосування терморесорних технологій у тепловикористовуючих холодильних машинах технологічного призначення**

### **Висновки**

**Список використаних джерел**

## **Вступ**

Невисока паливна ефективність стаціонарних теплоелектрогенеруючих установок, в тому числі підприємств харчової промисловості зумовлена значною кількістю скидної теплоти (відхідних газів, стисненого повітря і охолоджувальних середовищ (води та повітря), яка перевищує половину теплоти первинного палива. Утилізація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) більшості енергоустановок обмежується використанням теплоти відхідних газів для виробництва теплової енергії в пароводяних котлах, що носить сезонний характер. Заміна існуючих енергоустановок сучасними парогазотурбінними більшості вітчизняних підприємств не під силу через високу вартість. До того ж, ефективність найсучасніших енергоустановок залежить від кліматичних умов і суттєво знижується з підвищенням навколишньої температури: кожні 10 °С збільшення температури повітря на вході двигунів спричиняють зростання витрат палива на 0,5...0,7 %. Звідси перспективним напрямком є застосування енергозберігаючих технологій, які б забезпечували утилізацію низькопотенційної скидної теплоти та демпфували негативний вплив зростання температури зовнішнього повітря на паливну ефективність енергоустановок. До таких технологій відносяться технології комбінованого виробництва енергії, включаючи холод, а одним із перспективних напрямків підвищення ефективності таких технологій є застосування термогазодинамічного ефекту (компресії) в процесах трансформації скидної теплоти, який полягає у під-

вищенні тиску в результаті миттєвого випаровування диспергованої рідини, упорскуваної у прискорений потік перегрітої пари або газу. Завдяки збільшенню тиску скипаючого потоку зменшуються витрати потужності на стискання робочого тіла, підвищується коефіцієнт корисної дії і зменшуються витрати паливно-енергетичних ресурсів енергоустановками. Особливістю таких технологій є те, що вони використовують скидну низькопотенційну теплоту двигунів та енергоустановок, утилізація якої традиційними методами – в пароводяних котлах – проблематична через низьку температуру джерел скидної теплоти.

Мета дослідження - розробка енергозберігаючих технологій на основі термогазодинамічного ефекту (компресії) для енергетичних установок систем автономного енергозабезпечення підприємств харчової промисловості, розробка схемотехнічних рішень таких систем, які забезпечать скорочення витрат палива енергоустановками.

### **16.1. Особливості процесів трансформації теплоти за наявності термогазодинамічного ефекту**

У техніці широко використовують процеси, в яких рух газу по каналах відбувається при різноманітних зовнішніх діях. До них можна віднести зміну площі поперечного перетину каналу, обмін енергією з навколишнім середовищем у вигляді передачі механічної енергії або теплоти, тертя о стінки каналу, зміна витрати газу внаслідок підведення рідини в потік, процес механічної та теплової взаємодії крапель рідини з потоком газу та інш. [1].

Інтенсивне підведення тепла викликає збільшення аеродинамічного опору, а відведення – його зменшення. При інтенсивному відведенні теплоти та відповідної організації робочого процесу виявляється можливим не тільки значне зменшення опору, але й збільшення повного тиску в потоці газу. В цьому випадку за рахунок переважаючої теплової дії (відведення теплоти) відбувається стискання газового потоку. Апарат, у якому за рахунок відведення теплоти від газового потоку відбувається збільшення повного тиску газу, отримав назву термопресора [1-3].

Відведення теплоти може здійснюватися шляхом контактного теплообміну через стінки каналу та шляхом випарного охолодження уприскуваної в газовий потік охолоджуючої води. Можливість протікання процесу з підвищенням повного тиску потоку при випарному охолодженні вперше теоретично була наведена Л.А. Вулісом [4] у 1946-му р. Теорія робочого процесу, конструювання та випробування термопресора були наведені в літературі [1-6].

В термопресорі процес розширення газу (повітря) відбувається в добре спрофільованому соплі практично адіабатно. У вузьку частину сопла, де потік газу рухається із швидкістю  $(0,35 \dots 0,95)M$ , подається потік охолоджуючої рідини (води), яка дрібно розпилюється. На ділянці випаровування відбувається взаємодія цих потоків, що виражається в розгоні та дробленні крапель і деякому гальмуванні газового потоку, підігріві та випаровуванні крапель, охолодженні газу. Утворюється двофазний потік, що рухається із великою швидкістю, в якому відбуваються процеси тепло- і масообміну, зміна складу паро-, газорідинної суміші, всіх параметрів потоку. Ці процеси в тій або іншій мірі продовжуються і в дифузорі, де відбувається загальне уповільнення потоку і збільшення статичного тиску [1, 3].

Розгляд роботи термопресора, проведений кількома авторами [1-3, 6] підтверджує, що при русі паро-, газорідинної суміші в секції випаровування можна виділити три характерні режими (рис. 16.1).

В області, що безпосередньо примикає до площини вприскування, має місце режим I, коли вплив лобового опору крапель рідини переважає всі інші дії та визначає поведінку потоку. При цьому відбувається збільшення числа Маха, статичний тиск потоку знижується, а температура рідини підвищується, наближаючись до температури насичення. Велика швидкість газового потоку сприяє інтенсивному випаровуванню рідини. Аеродинамічний опір крапель на цій ділянці переважає позитивний ефект випаровування.

Поступово різниця в швидкості газу та рідини зменшується, і вплив лобового опору крапель знижується. Підвищення температури рідини значно збільшує швидкість випаровування. Наступає момент, коли визначальним процесом є випаровування рідини – режим II. При цьому швидкість потоку зменшується, а повний і статичний тиск зростають. На цьому режимі переважає уповільнююча дія газу (пари) на рідину, оскільки в деякій області рідина має швидкість більшу, ніж швидкість газу (пари). Це сприяє деякому підвищенню тиску, втраченому в режимі I. Маса рідини поступово зменшується внаслідок випаровування. Тому до потоку в режимі II повертається менше енергії, ніж затрачується в режимі I.

Поступово швидкість випаровування зменшується. Це викликає тим, що зменшується площа поверхні крапель і знижується різниця в швидкості та температурі фаз. Наступає момент, коли поверхневе тертя, що було до цього відносно незначним, стає переважаючим чинником – режим III.

Робочий процес термопресора бажано організувати таким чином, щоб звести до мінімуму втрати енергії в режимі I і повністю ви-

ключити режим III [1, 6]. Потік повинен поступати в дифузор одразу після закінчення режиму II. В дифузорі відбувається зниження швидкості парогазової суміші та підвищення статичного тиску. Важливо, щоб цей процес відбувався при мінімальному аеродинамічному опорі.

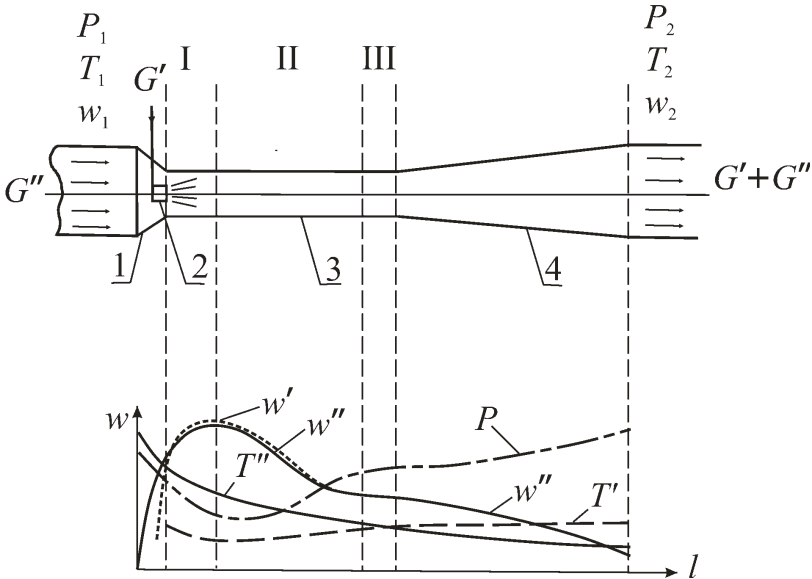


Рис. 16.1. Характер зміни параметрів в термопресорі

На рис. 16.2. наведений характер зміни підвищення тиску в термопресорі  $\Delta P$  від швидкості відхідних газів у проточній частині для ідеального та реального термопресора (відповідно з урахуванням і без урахування тертя в каналах). При швидкостях (0,8...0,9)М підвищення тиску в ідеальному термопресорі (без врахування тертя) складає  $\Delta P_0 = 30...40\%$ . Втрати тиску через тертя в проточних каналах складають  $\Delta P_{\text{тр}} = 15...20\%$ . Таким чином, дійсне підвищення тиску в термопресорі внаслідок термогазодинамічного ефекту (компресії) складає  $\Delta P = \Delta P_0 - \Delta P_{\text{тр}} = 15...20\%$ . Зниження температури відхідних газів за рахунок випаровування  $\Delta T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ . Вхідні умови відповідають характеристикам роботи середньобертових ДВЗ фірми "MAN V&W".

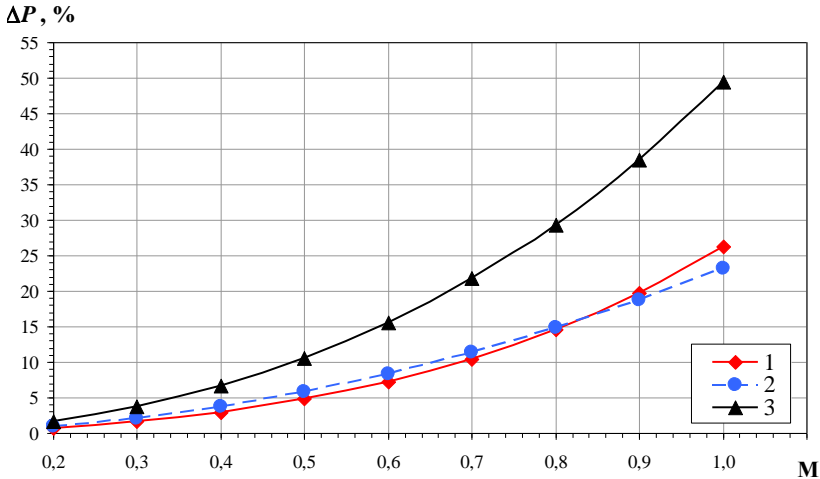


Рис. 16.2. Залежності підвищення тиску в термопресорі  $\Delta P$  від швидкості відхідних газів у проточній частині в числах Маха: 1 – підвищення тиску в реальному термопресорі  $\Delta P$ , з урахуванням сил тертя в проточних частинах; 2 – втрати тиску газу від тертя  $\Delta P_{\text{тр}}$ ; 3 – підвищення тиску в ідеальному термопресорі  $\Delta P_0$

Великий вплив на роботу термопресора мають конструктивні чинники [1], що визначають число Маха на вході в секцію випаровування. Число  $M$  визначає величину енергії газового (парового) потоку. При низьких числах  $M$  швидкість випаровування невелика, що призводить до збільшення довжини ділянки випаровування і, відповідно, до зростання втрат енергії на тертя. З підвищенням числа  $M$  відбувається більш інтенсивне випаровування на меншій по довжині ділянці секції випаровування при відносно менших втратах на тертя. Проте для кожного ряду початкових параметрів існує максимальне значення  $M$ , перевищення якого може призвести до виникнення надзвукових швидкостей у секції випаровування, утворення стрибків ущільнення і великих втрат енергії.

На роботу термопресора великий вплив мають наступні основні режимні чинники [1]:

- 1) витрата газу;
- 2) початкова температура і глибина охолодження газу;
- 3) число Маха на вході у випарну секцію;
- 4) організація подачі та розпилу рідини.

Вплив витрати газу визначається в основному тим, що час випаровування  $a$ , отже, довжина секції випаровування залишаються приблизно однаковими для великих і малих витрат, тоді як діаметр істотно збільшується при збільшенні витрати. Тому для великих витрат газу відносна довжина  $l/D$  менше, що призводить до зменшення втрат тиску [1-3, 5-6].

Підвищення початкової температури газу до певної величини сприятливо позначається на роботі термопресора. Висока початкова температура забезпечує інтенсивний процес випаровування, в зв'язку з чим, робота може відбуватися при більш високих швидкісних режимах, оскільки протягом майже всього процесу випаровування забезпечується значна різниця температур між фазами. Проте при дуже високих початкових температурах втрати енергії на розгін і транспортування рідини можуть перевищити позитивний ефект від випаровування – ступінь підвищення повного тиску зменшуватиметься із зростанням початкової температури.

Число Маха на вході у випарну секцію впливає на роботу термопресора, оскільки визначає величину енергії газового потоку. При низьких значеннях  $M$  і пневматичній системі розпилу рідини швидкість випаровування невелика. Це приводить до збільшення довжини ділянки випаровування і, відповідно, зростання втрат енергії на тертя.

Із підвищенням початкового числа Маха  $M$  середній діаметр краплі зменшується при збільшенні початкової швидкості газу – відбувається більш інтенсивне випаровування води на меншій по довжині ділянці трубопроводу при відносно менших втратах на тертя. Проте для кожного ряду початкових параметрів ( $T_{01}$ ,  $p_{01}$  і  $d_0$ ) повинно існувати максимальне значення  $M$ , перевищення якого може привести до встановлення надзвукових швидкостей у секції випаровування, утворення стрибків ущільнення і до великих втрат енергії [5, 6].

До системи вприскування рідини повинні пред'являтися кілька вимог [1]:

- 1) достатньо дрібний розпил;
- 2) рівномірний розподіл крапель по поперечному перетину каналу;
- 3) максимальна швидкість уприскуваної рідини;
- 4) невеликий аеродинамічний опір конструкції.

Діаметр краплі сильно впливає на довжину ділянки випаровування і його швидкісний режим: зі зменшенням первинного розміру краплі довжина ділянки випаровування і втрати на тертя значно зменшуються.

Вприскування води збільшує коефіцієнт тертя на 10...20 % [1-7], і для того, щоб уникнути подальшого збільшення втрат, необхідно прагнути зниження аеродинамічного опору в конструктивних елементах системи уприскування, які знаходяться всередині каналу. Для досягнення цієї мети бажано розмішувати пристрої системи уприскування в потік з малою швидкістю газу (перед соплом) і робити їх більш обтічної форми.

Застосування більш вдалих систем підведення і розпилу води, які відповідають наведеним вимогам, дозволить значною мірою збільшити термогазодинамічний ефект при відносно низьких витратах води [3].

## **16.2. Системи термопресорного охолодження наддувного повітря ДВЗ**

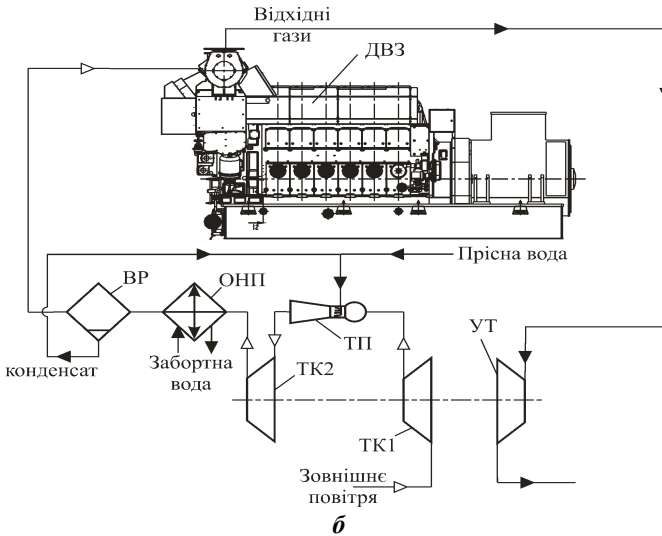
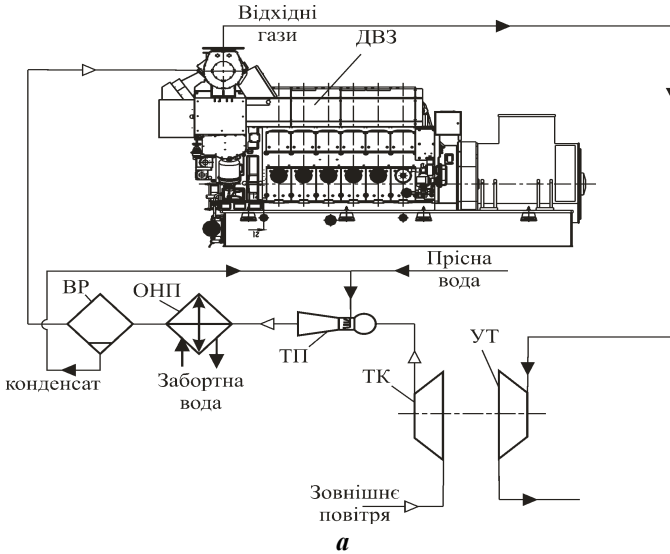
Одним із перспективних напрямів підвищення енергетичної ефективності ДВЗ систем автономного енергозабезпечення підприємств харчової промисловості є застосування термопресорних систем охолодження наддувного повітря [8-10].

На рис. 16.3 (а) наведена схема зі застосуванням термопресора як охолоджувача наддувного повітря (ОНП) за основним турбокомпресором. Повітря всмоктується одноступінчастим турбокомпресором (ТК) і стискається до показників менше тиску, ніж на вході в циліндри ДВЗ. Після цього повітря з високою температурою і тиском поступає на випарне охолодження в термопресор (ТП). При цьому, завдяки ефекту термогазодинамічної компресії, температура повітря значно знижується, а тиск підвищується до необхідної величини, відповідної на вході в двигун. Остаточне зниження температури здійснюється в додатковому кінцевому ОНП.

Схема двоступінчастого стискання у турбокомпресорах із проміжним охолодженням повітря в термопресорі наведена на рис. 16.3 (б). Повітря стискається турбокомпресором першого ступеня ТК1. Стиснене повітря має високу температуру, і його охолодження здійснюється у ТП. Після цього повітря повторно стискається у турбокомпресорі другої ступені ТК2 і охолоджується заборотною водою в охолоджувачі наддувного повітря.

Аналіз ефективності схем проводився відносно штатних класичних схем охолодження наддувного повітря в одно- і двоступінчастих турбокомпресорах. Розрахунки здійснені для середньообертового приводного двигуна 5L21/31 фірми MAN B&W потужністю  $N_e = 1000$  кВт і  $n = 1000$  хв.<sup>-1</sup>





**Рис. 16.3.** Схеми систем охолодження наддувного повітря:  
**а)** - одноступінчасте стиснення наддувного повітря і термопресором за ТК;  
**б)** - двоступінчасте стиснення наддувного повітря і термопресором між ступенями стиснення; ВР – віддільник рідини; ОНП – охолоджувач наддувного повітря; ПОП – проміжний охолоджувач повітря; ТК – турбокомпресор; ТП – термопресор

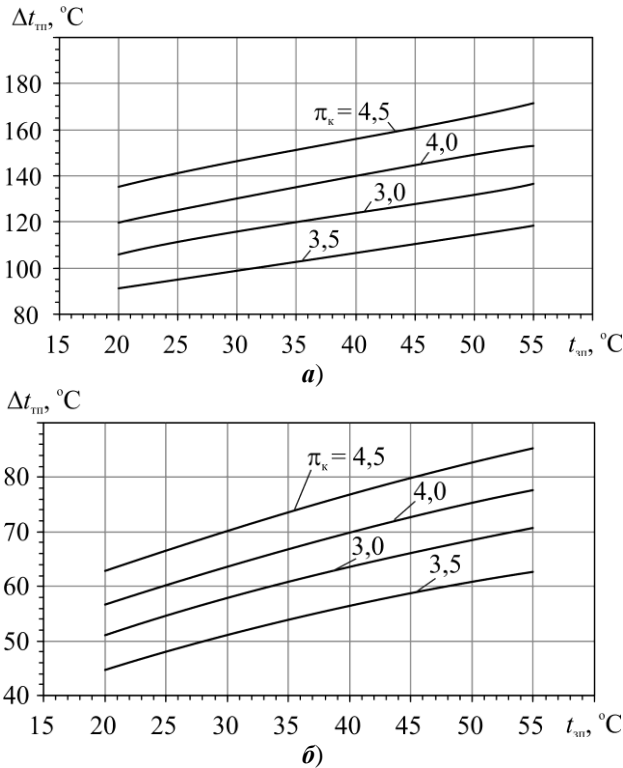
Підвищення тиску в термопресорі  $\Delta P_{\text{тп}}$  значною мірою залежить від величини зниження температури при охолодженні  $\Delta t_{\text{тп}}$ , а отже велике значення має температура повітря на вході  $t_{\text{тп1}}$ . Температура перед термопресором відповідає температурі повітря на нагнітанні турбокомпресора (ТК – одноступінчастого стиснення та ТК1 – для двоступінчастого). У схемі з одноступінчастим стисненням температура перед термопресором складає  $t_{\text{тк}} = 150...240$  °С, а для схеми з двоступінчастим стисненням –  $t_{\text{тк1}} = 80...150$  °С. Температура за ТК тим вище, чим вище температура на всмоктуванні та ступінь підвищення тиску в ТК  $\pi_{\text{к}}$ . Оскільки  $\pi_{\text{к}}$  одноступінчастого ТК більше, ніж для кожного ТК, які входять у двоступінчасту схему, то температура на вході в термопресор для одноступінчастої схеми буде значно вище.

Мінімальна температура на виході з ТП  $t_{\text{тп2}}$  на 2...3 °С вище температури точки роси, а оскільки повний тиск на виході для одноступінчастої схеми вище, то звідси й більш високі температури повітря:  $t_{\text{тп2}} = 60...90$  °С проти  $t_{\text{тп2}} = 40...70$  °С – для двоступінчастої схеми. При охолодженні повітря в проміжному охолоджувачі повітря (ПОП) температура повітря складає 47 °С (при температурі води  $t_w = 35$  °С). При температурах зовнішнього повітря  $t_{\text{зп}} = 20...25$  °С температура повітря за термопресором проміжного охолодження у двоступінчастій схемі буде нижче температури повітря за ПОП у класичній схемі, що додатково зменшить роботу на стискання у компресорі другого ступеня.

Зниження температури у термопресорі складає  $\Delta t_{\text{тп}} = t_{\text{тп1}} - t_{\text{тп2}} = 90...170$  °С для одноступінчастої схеми і  $\Delta t_{\text{тп}} = 45...95$  °С – для двоступінчастої (рис. 1.4, а, б). Зниження температури доцільно оцінювати за співвідношенням температур (відносної температури)  $\Delta T_{\text{відн}} = (T_{\text{тп1}}/T_{\text{тп2}})$ . Для одноступінчастої схеми –  $\Delta T_{\text{відн}} = 1,27...1,47$  проти  $\Delta T_{\text{відн}} = 1,14...1,25$ .

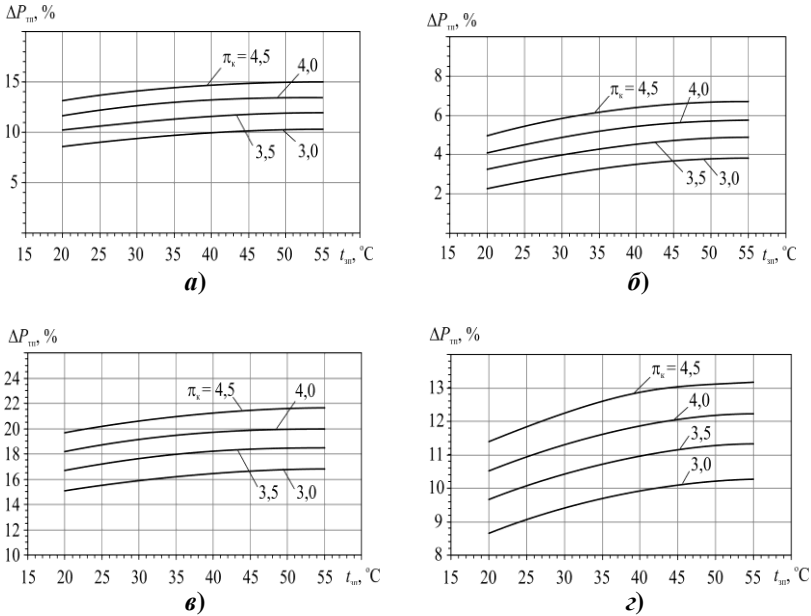
Ефект термопресії буде вище при збільшенні  $\Delta T_{\text{відн}}$ . Так, для одноступінчастої схеми  $\Delta P_{\text{тп}} = 15...22\%$  (рис. 16.5, а) – ідеальний термопресор (втрати тиску на подолання гідравлічних опорів не враховуються) та  $\Delta P_{\text{тп}} = 9...17\%$  (рис. 16.5, в) – реальний термопресор; для двоступінчастої схеми  $\Delta P_{\text{тп}} = 8,5...13,0\%$  і 2,0...6,5 % відповідно (рис. 16.5, б, г). Більші значення тисків відповідають і більш високим температурам зовнішнього повітря (45...55 °С). Підвищення тиску за термопресором знижує  $\pi_{\text{к}}$  турбокомпресорної установки. Так, при загальному для одноступінчастої схеми  $\pi_{\text{к}} = 4,6$  ступінь підвищення тиску для турбокомпресора знижується до  $\pi_{\text{к}} = 4,0...4,1$ , а при двоступінчастому

стисненні до  $\pi_k = 4,3 \dots 4,4$ , при загальному  $\pi_k = 3,0 - 2,7 \dots 2,8$  і  $2,8 \dots 2,9$  відповідно.



**Рис. 16.4.** Зменшення температур у термопресорі  $\Delta t_{тп} = t_{тп1} - t_{тп2}$  (а, б) при різних  $\pi_k$  в залежності від температури повітря на всмоктуванні  $t_{тп}$ :  
 а) - одноступінчасте стиснення в турбокомпресорі та охолодження в ОНП;  
 б) - двоступінчасте стиснення з проміжним охолодженням у термопресорі

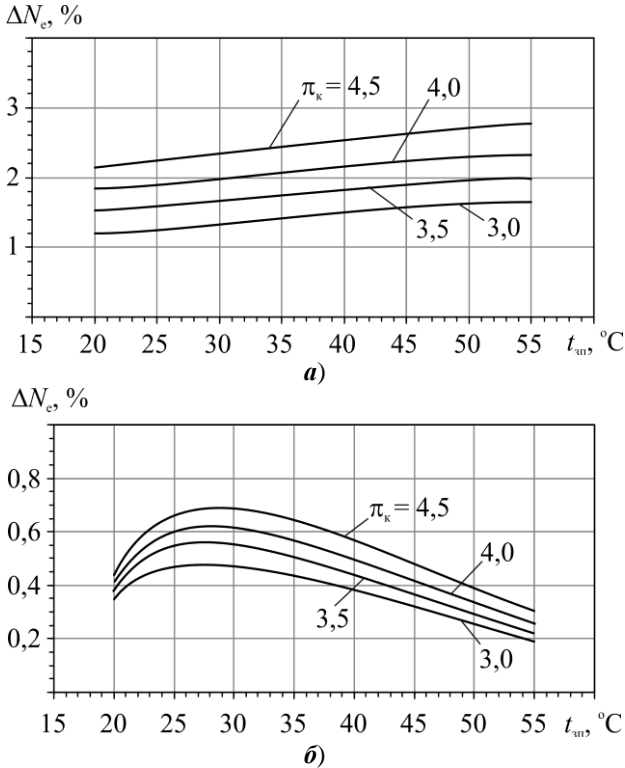
З іншого боку, підвищення температури повітря на всмоктуванні збільшує роботу на стискування і, як наслідок, – потужність ТК. Крім того, упорскування води в термопресор двоступінчастої схеми збільшує масову витрату робочого тіла компресора другого ступеня, що підвищує, в свою чергу потужність турбокомпресора другої ступені  $N_{тк2}$ .



**Рис. 16.5.** Відносне підвищення повного тиску в ідеальному термопресорі  $\Delta P_{тп} = P_{тп2}/P_{тп1}$  (а, б) і в реальному термопресорі (в, г) при різних  $\pi_k$  в залежності від температури повітря на всмоктуванні  $t_{зп}$  а), в) одноступінчасте стиснення в турбокомпресорі і охолодження в ОНП; б), г) двоступінчасте стиснення з проміжним охолодженням у термопресорі

Однак, підвищення тиску в термопресорі має визначальний вплив, тому при збільшенні температури на всмоктуванні  $t_{зп}$  призводить не до зменшення економії потужності  $\Delta N_{тк}$ , а навпаки – до її збільшення. При одноступінчастому стисненні зменшення потужності  $\Delta N_{тк}$  збільшується від 12 до 28 кВт або з 7 до 12 % відносно потужності турбокомпресора і з 1,2 до 3,0 % відносно потужності двигуна. У випадку двоступінчастої схеми збільшення  $\Delta N_{тк}$  (з 8 до 12 кВт, або з 2,0 до 3,5 % відносно потужності ТК і з 0,4 до 0,7 % відносно потужності ДВЗ (рис. 16.6) має місце лише в діапазоні температур  $t_{зп} = 20 \dots 40$  °C. Із подальшим підвищенням  $t_{зп}$  спостерігається незначне зменшення  $\Delta N_{тк}$ . Це, насамперед, обумовлено збільшенням витрати води  $G_w$  на упорскування у термопресор (до 0,2 %) з одного боку та незначним підвищенням тиску в термопресорі  $\Delta P_{тп}$  біля 2...6%.

Таким чином, можна спостерігати максимальні значення  $\Delta N_{\text{ТК}}$  для двоступінчастої схеми при температурах  $t_{\text{зп}} = 25 \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , які складають 3,5 % відносно потужності ТК і 0,7 % відносно потужності двигуна.



**Рис. 16.6.** Відносний приріст потужності ДВЗ  $\Delta N$  при різних  $\pi_k$  залежно від температури повітря на всмоктуванні  $t_{\text{зп}}$

**а)** - одноступінчасте стиснення і охолодження в ОНП;

**б)** - двоступінчасте стиснення з проміжним охолодженням в термопресорі

Менша сумарна потужність  $N_{\text{ТК}}$  має місце для схеми з двоступінчастим стисненням і проміжним охолодженням у термопресорі й складає 125...155 кВт при  $\pi_k = 3,0$  і 180...240 кВт при  $\pi_k = 4,6$ .

Витрата води, яка необхідна для повного випаровування в термопресорі  $G_w$ , складає 0,06...0,12 кг/с, або 0,2...0,4 % відносно витрати повітря для одноступінчастої схеми і 0,03...0,07 кг/с (0,1...0,2 %) відповідно для двоступінчастої схеми.

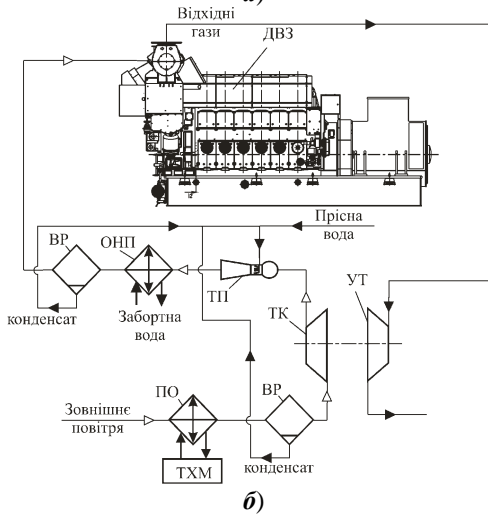
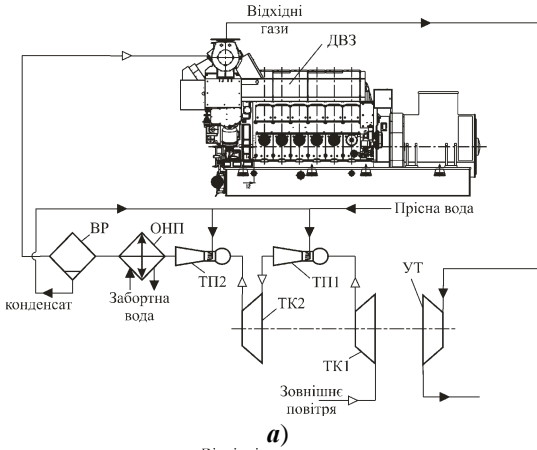
Із наведеного аналізу можна зробити висновок про доцільність застосування термопресора саме у двоступінчастій схемі стиснення повітря. Цьому відповідають менші потужності ТК (у середньому на 10 кВт менше, ніж для схеми з одноступінчастим стисненням) і менші витрати води на впорскування у термопресор.

Застосування термопресора між ступенями ТК у двоступінчастій схемі дає можливість також забезпечити більш високу степінь розпилення води в повітряному потоці завдяки досить високим швидкостям ( $M = 0,80 \dots 0,95$ ), високій турбулізації потоку. При упорскуванні більшої за необхідну кількості води вона може довипаровуватися на всмоктуванні ТК. Це забезпечить додаткове зменшення роботи компресора на стиснення, а відповідна організація двофазного газового потоку – більш високу ефективність процесів теплообміну порівняно з упорскуванням води традиційними форсунками. Крім того, застосування форсунок значно збільшує гідравлічний опір [2, 6], а це знижує ефект від термопресії  $\Delta P_{\text{тп}}$ . З іншого боку, неповне випаровування води в термопресорі зменшує втрати тиску в самому термопресорі, що, навпаки, збільшує  $\Delta P_{\text{тп}}$  [10].

Під час охолодження повітря в ОНП двоступінчастої схеми відбувається значне випадіння вологи, внаслідок високого вологовмісту  $d$  і низької температури точки роси. Скоонденсовану вологу доречно застосовувати для упорскування у термопресор (рис. 16.7), таким чином зникає необхідність в отриманні додаткової кількості прісної води для підтримання робочого процесу в ТП. При температурах  $t_{\text{зп}} = 25 \dots 35$  °С баланс води в установці  $\Delta G_w = 0$  т/доб, тобто в термопресор впорскується стільки рідини, скільки конденсується в ОНП, а при температурах вище 35 °С кількість води, що конденсується буде вище і  $\Delta G_w$  складатиме до 8 т/доб. При  $t_{\text{зп}} = 20$  °С витрата води на термопресор вище, тому  $\Delta G_w = 0,5 \dots 1,0$  т/доб.

Наступним етапом розвитку схемних рішень з урахуванням зробленого аналізу можна запропонувати схеми термопресорних систем охолодження: 1) схема з двоступінчастим стисненням у ТК і двома термопресорами (рис. 16.7, а); 2) схема з охолодженням повітря на вході в ТК (рис. 16.7, б). Особливістю першої схеми є використання двох термопресорів, що повинно об'єднати очевидні переваги від проміжного термопресорного охолодження (рис. 16.3, б) і охолодження за ТК (рис. 16.3, а). Однак у такої схеми є і певні недоліки. Наприклад, підвищена у кілька разів витрата води на охолодження. До того ж, застосування термопресора за ТК знизить потенціал від застосування традиційних тепловикористовуючих контурів на наддувному повітрі.

Перевагою другої схеми (рис. 16.7, б) є застосування охолодження повітря на вході в ТК, що повинно зменшити роботу компресора.



**Рис. 16.7. Схеми систем охолодження наддувного повітря:**  
**а)** одноступінчасте стиснення наддувного повітря і термодвигателем за ТК;  
**б)** двоступінчасте стиснення наддувного повітря і термодвигателем між ступенями стиснення; ВР – віддільник рідини; ОНП – охолоджувач наддувного повітря; ПО – проміжний охолоджувач повітря; ТК – турбокомпресор; ТП – термодвигателю; ТХМ – тепловою використовуюча холодильна машина; ПО – повітроохолоджувач

Конденсат, який присутній в повітроохолоджувачі ПО, можна використовувати для упорскування в ТП. Охолодження повітря доцільно здійснювати за рахунок тепловикористовуючих холодильних машин.

### 16.3. Термопресорні системи в газотурбінних установках з турбінами перерозширення

Схема додаткового контура газотурбінної установки (ГТУ) з турбіною перерозширення і цикл установки наведені на рис. 16.8. Робота установки здійснюється таким чином: газ із тиском  $P_4$ , що дорівнює атмосферному, і достатньо високою температурою (400...600°C) після головної ГТУ поступає на допоміжну турбіну, де політропно розширюється до тиску  $P_5 = 0,35 \cdot 10^5$  Па (процес 4-5 на рис. 16.9, б) [11, 12]. Для зменшення роботи стиснення в компресорі газ охолоджують у холодильнику (процес 5-6). Через наявність аеродинамічного опору  $\Delta P$  в теплообмінному апараті тиск  $P_6 < P_5$ . Холодний газ (із температурою, наприклад,  $t_3 = 50$  °C залежно від температури охолоджуючого середовища) стискається турбокомпресором до атмосферного тиску (політропний процес 6-7). На  $T$ - $S$ -діаграмі (рис. 16.9, б) ізобарний процес 7-1 замикає цикл і є умовним.

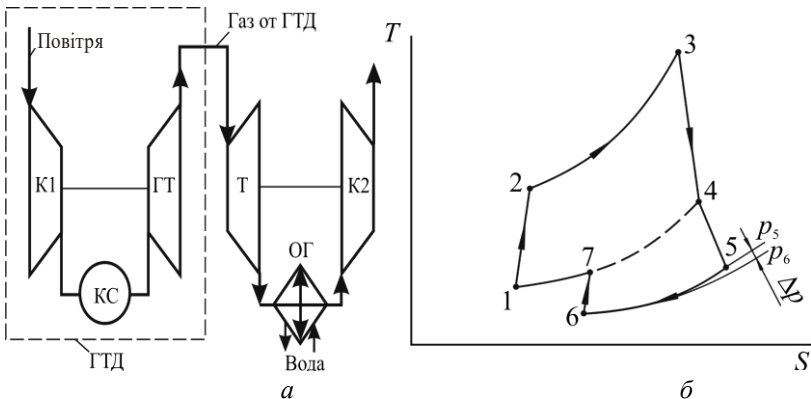
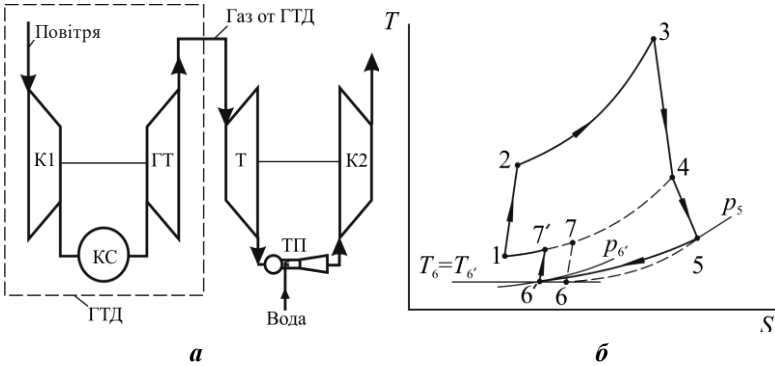


Рис 16.8. Схема (а) і цикл (б) установки з турбіною перерозширення: ГТ – турбіна ГТУ; КС – камера згоряння; Т – турбіна перерозширення; К1, К2 – компресор; ОГ – охолоджувач газу



Охолоджувач газу можна замінити компактним термопресором (рис. 16.9, *a*).

У термопресорній установці з турбіною перерозширення після ГТУ газ поступає, як і в попередньому випадку, в допоміжну турбіну, де політропно розширюється до тиску  $P_2$  (процес 4-5 на рис. 16.9, *б*).



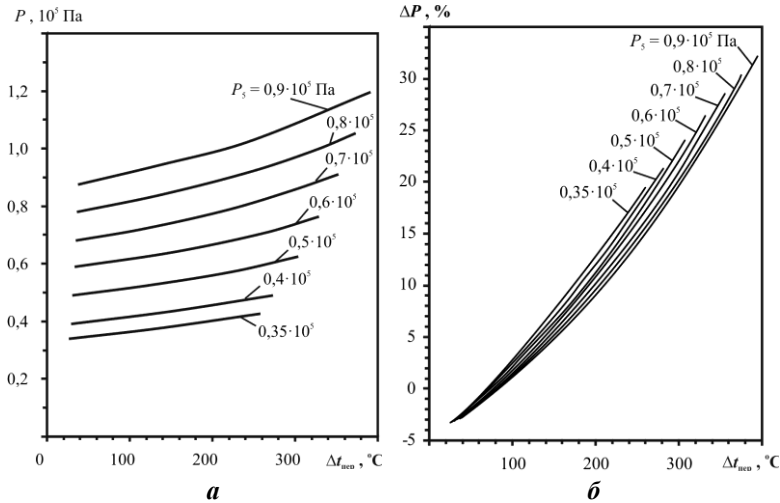
**Рис. 16.9.** Схема (*a*) і цикл (*б*) установки з турбіною перерозширення і термопресором: ГТ – турбіна ГТУ; КС – камера згоряння; Т – турбіна перерозширення; К1, К2 – компресор; ТП – термопресор

У соплі термопресора газ адіабатно розширюється до низького тиску та політропно стискається в дифузорі апарату до тиску  $P_6' > P_6$  (процес  $a-3$ ). Лінія 5-6' по суті є умовним процесом стиснення газового потоку в термопресорі. При цьому загальна витрата газу зростає на величину, що дорівнює кількості уприскуваної в термопресор води. При забезпеченні в термопресорі такої ж глибини охолодження, як і в охолоджувачі газу, температури на виході будуть рівні ( $T_6 = T_6'$ ). Із рис. 16.9, *б* видно, що робота компресора (процес  $6'-7'$ ) зменшується внаслідок зменшення ступеня стиснення  $\pi_k = P_7/P_6'$ , а значить приводить до збільшення термічного ККД циклу  $\eta_t$ . Потім газ політропно стискається в компресорі до тиску, що дорівнює атмосферному, тобто початкового тиску на вході в допоміжну турбіну.

Була проаналізована робота термопресійного газотурбінного контуру у складі вітчизняної ГТУ UGT-2500 виробництва ДПГТК "Зоря"-"Машпроект". Початкові дані для розрахунків: температури газу за основною ГТУ (на вході в турбіну перерозширення)  $t_4 = 460$  і  $550^\circ\text{C}$ ; витрата газу –  $G = 16,5$  кг/с; тиск газу за ГТУ  $P_4 = 10^5$  Па; температура газу після термопресора  $t_5 = 50^\circ\text{C}$ .

Результати розрахунку термопресорної системи газотурбінної установки (рис. 16.10, *a*) показують, що температура газу за турбіною перерозширення – на вході в термопресор – складає 300...400 °С. При спрацьовуванні в термопресорі великого перепаду температур газу, тобто через перегрів  $\Delta t_{\text{пер}}$  – від температури 300...400 °С на вході до 50 °С на виході – можливе отримання в ньому значного збільшення тиску (рис. 16.10, 16.11). Так, при температурі газу на вході в турбіну перерозширення  $t_4 = 450$  °С відносний приріст тиску газу складає 20...35 % залежно від тиску  $P_5$  за турбіною (рис. 16.10).

Як видно з рис. 1.10, *a*, при тиску за турбіною  $P_5 = 0,8 \cdot 10^5$  Па і зниженню температури газу в термопресорі більше ніж на 300 °С можлива робота установки взагалі без компресора, оскільки термопресор здатний підвищити тиск газу більше атмосферного. При цьому відносний приріст тиску  $\Delta P$  в термопресорі складе 24 % (рис. 16.10, *б*).

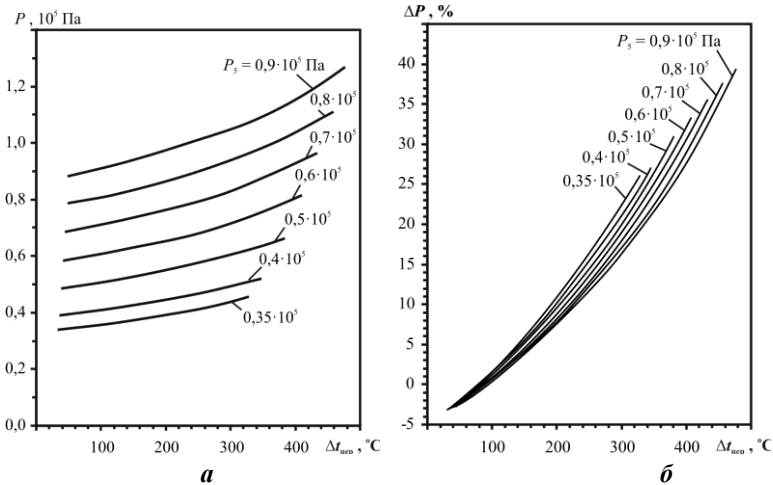


**Рис 16.10.** Залежність тиску на виході з термопресора  $P$  (*a*) і відносного приросту тиску  $\Delta P$  (*б*) в термопресорі від перегріву  $\Delta t_{\text{пер}}$  при різних тисках  $P_5$  після турбіни перерозширення (на вході термопресора) й температурі газів перед турбіною перерозширення  $t_4 = 450$  °С

При температурі газу на вході в турбіну перерозширення  $t_4 = 550$  °С робота установки без компресора можлива при дещо більшому відносному прирості тиску газу в термопресорі – 26 % (рис. 16.11, *б*).

Як видно з рис. 16.10, б й рис. 16.11, б, відносний приріст тиску  $\Delta P$  тим більший, чим більший температурний перепад  $\Delta t_{\text{пер}}$  і початковий тиск у термопресорі  $P_5$  (після турбіни перерозширення).

Результати розрахунків показують можливість приросту корисної потужності ГТУ за рахунок застосування турбіни перерозширення з компресором і термопресором на 23 % в порівнянні з потужністю базової ГТУ UGT-2500 (без термопресора) при температурі газу на вході в термопресор  $t_4 = 450 \text{ }^\circ\text{C}$  і  $\Delta N = 33 \%$  при  $t_4 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ . При цьому тиск газу на виході з турбіни перерозширення, при якому установка може працювати без компресора, в першому випадку складає  $P_5 = 0,76 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , а в іншому –  $P_5 = 0,66 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , перепад температур  $\Delta t_{\text{пер}}$  по газу, що виник у термопресорі, повинен бути не менше ніж  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Рис. 16.11.** Залежності тиску на виході з термопресора  $P$  (а) і відносного приросту тиску  $\Delta P$  (б) в термопресорі від перегріву  $\Delta t_{\text{пер}}$  при різних тисках  $P_5$  після турбіни перерозширення (на вході термопресора) й температури газів перед турбіною перерозширення  $t_4 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$

Вода для термопресора використовується прісна (дистильована), а оскільки для її виробництва необхідно витратити додаткову кількість енергії в опріснювальній установці, то звідси й не такий

значний приріст ККД ГТУ:  $\Delta\eta_{\text{ГТУ}} = 11\%$  для  $t_1 = 450\text{ }^\circ\text{C}$  і  $\Delta\eta_{\text{ГТУ}} = 16\%$  для  $t_1 = 550\text{ }^\circ\text{C}$ .

Як альтернативний варіант можна запропонувати комбіновану схему установки з термопресором, установленим після компресора (рис. 16.12). В такій установці газ після термопресора охолоджується в охолоджувачі й стискається в компресорі до тиску не вище  $0,9 \cdot 10^5\text{ Па}$ , після чого поступає в термопресор, де стискається до тиску, що дорівнює атмосферному.

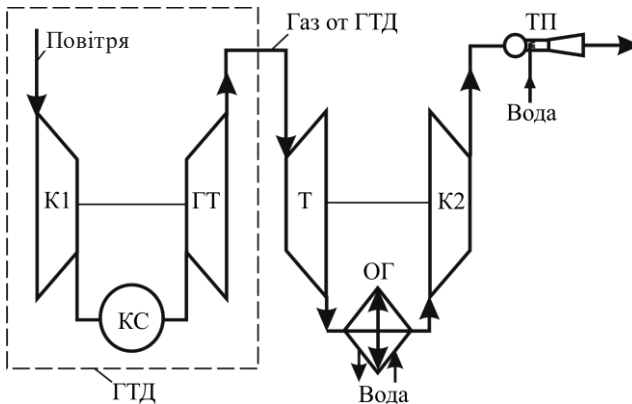


Рис. 16.12. Схема установки з турбіною перерозширення після термопресора.

ГТ – турбіна ГТУ; КС – камера згоряння; Т – турбіна перерозширення; К1, К2 – компресор; ТП – термопресор; ОГ – охолоджувач газу

Така схема дозволяє зменшити витрату води, вприскуваної в термопресор, до  $g = 0,05$  (5%). Приріст корисної потужності ГТУ складає 14%.

#### 16.4. Застосування термопресорних технологій у тепловикористовуючих холодильних машинах технологічного призначення

Застосування одно- і двоступеневої регенерації теплоти в тепловикористовуючих ежекторних холодильних машинах (ЕХМ) призводить до підвищення теплового коефіцієнта  $\zeta$  на 10...20% [14]. Додат-

ково до цього, підвищити  $\zeta$  можливо за рахунок збільшення коефіцієнта ежекції  $U$ , чого можна досягти за рахунок збільшення ступеня розширення робочого потоку.

Ефективність будь-якої тепловикористовуючої холодильної машини визначається тепловим коефіцієнтом  $\zeta$ , який для ЕХМ визначається співвідношенням

$$\zeta = U \cdot \frac{q_0}{q_T}$$

де  $U$  - коефіцієнт ежекції;  $q_0$  - питома холодопродуктивність, кДж/кг;  $q_T$  - питома кількість теплоти, що підводиться в генераторі, кДж/кг.

Збільшити ступінь розширення можливо декількома шляхами: збільшенням тиску робочого потоку, що надходить з генератора і зменшенням тиску пара холодоагенту (температури конденсації) на виході з дифузора ежектора. Збільшення тиску робочого потоку обмежена невисоким тепловим потенціалом теплоти, що утилізується, а також невисокими критичними температурами холодоагентів, що традиційно застосовуються в ЕХМ. Підвищити  $\zeta$  (на 10...20 %) можна за рахунок зменшення температури (тиску) конденсації [14].

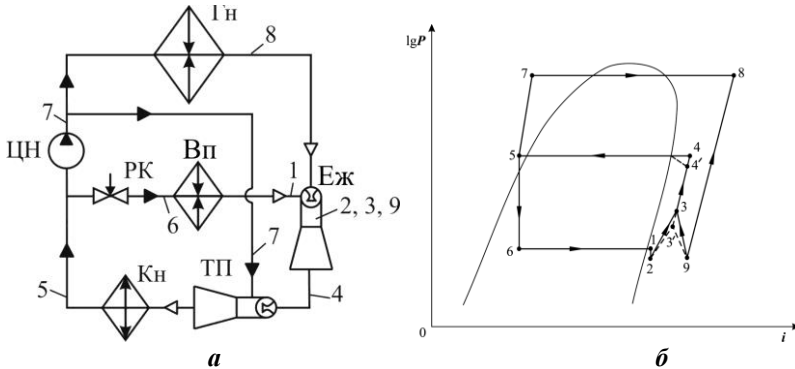
Найпростішим способом зниження тиску пари на виході з дифузора ежектора при постійній температурі конденсації є застосування термопресора після ежектора перед конденсатором (рис. 1.13).

Установка, наведена на рис. 16.13 працює наступним чином: ежектор Еж (рис. 16.13, а) всмоктує пару з випарника Вп, використовуючи енергію робочої пари високого тиску (точка 8 на рис. 16.13, б), яка надходить з генератора Гн, розширюється в соплі до тиску (точка 9), трохи меншого, ніж тиск пари на виході з випарника (точка 1), і стискається до тиску конденсації (точка 4); Процеси 6-1 і 7-8 - кипіння (можливо з перегрівом) в випарнику і генераторі робочої пари високого тиску; 8-9 - розширення робочої пари в соплі ежектора; 1-2 - зниження тиску на всмоктуванні з випарника пари в приймальній камері ежектора; 2-3 і 9-3 - змішання холодної пари з випарника і пари на виході з сопла ежектора; 3-1 - підвищення тиску змішаної пари в камері змішання і дифузори ежектора.

Стиснута в ежекторі Еж пара конденсується в конденсаторі Кн (процес 4-5). Рідкий холодоагент розділяється на два потоки: перший дроселюється в РК (процес 5-6) і випаровується у випарнику (процес 6-1), другий - стискається в насосі ЦН до високого тиску (процес 5-7) і випаровується в генераторі Гн (процес 7-8).

Термопресор встановлюється за ежектором і перед конденсатором. Для впорскування в робочу камеру термопресора використову-

ється частина рідини після циркуляційного насоса. На рис. 16.13, б пунктиром показані процеси, що відповідають циклу ЕХМ із застосуванням термопресора.



**Рис. 16.13.** Схема і цикл ЕХМ із застосуванням термопресора в комбінації з ежектором: Гн – генератор пари; Еж – ежектор; ТП – термопресор; Кн – конденсатор; Вп – випарник; РК – регулюючий дросельний клапан; ЦН – циркуляційний насос

На рис. 16.14 наведені залежності збільшення тиску в термопресорі  $\Delta P$  від температури перегріву  $\Delta t_{\text{пер}}$  і частки рідини, що упорскується,  $g$  при температурі конденсації  $t_{\text{к}} = 35$  °С.

Проаналізовано застосування декількох найбільш поширених в холодильній техніці холодоагентів. Як видно з рис. 16.14 позитивний ефект від застосування термопресора буде тільки в разі застосування аміаку і хладону R142b. При цьому  $\Delta P$  склав  $0,1 \dots 0,8 \cdot 10^5$  Па. Для холодоагентів R22 і R134a спостерігається при температурах перегріву навпаки зниження тиску, що пов'язано, в даному випадку, з великими втратами на тертя в робочій камері термопресора. Окрім того, зняття перегріву в термопресорі дозволяє знизити теплове навантаження на конденсатор і тим самим зменшити витрату охолоджуючої води.

Надалі розглядався холодоагент R142b, який традиційно застосовується в ЕХМ. На рис. 16.15 наведені залежності збільшення тиску в термопресорі  $\Delta P$  для R142b при різних температурах конденсації.

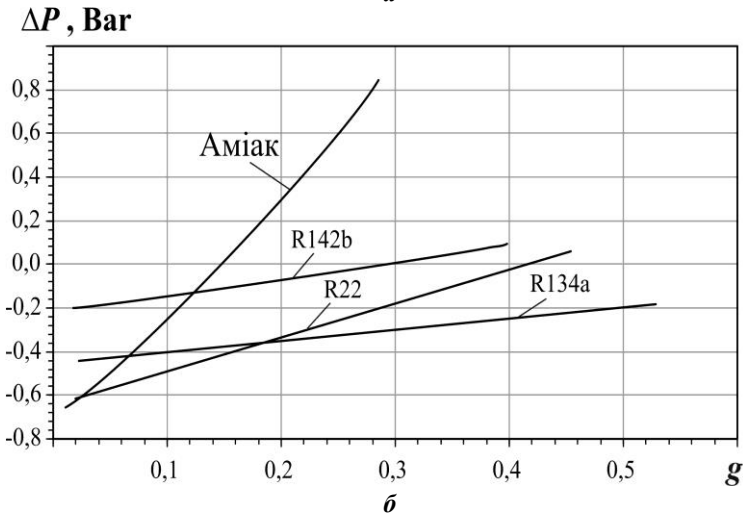
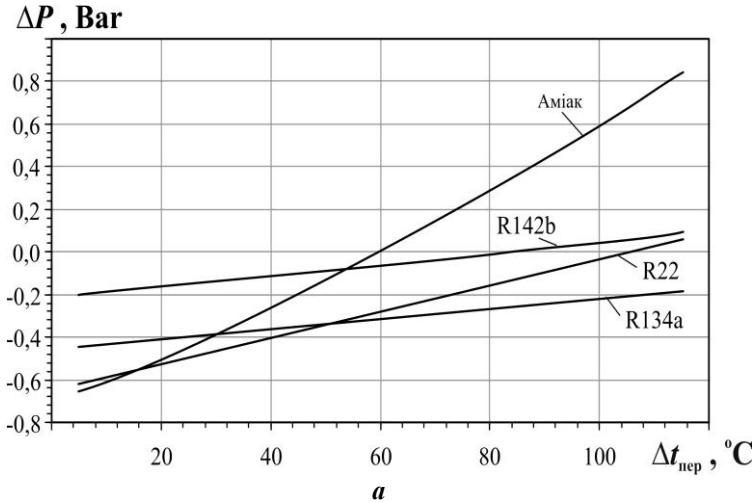
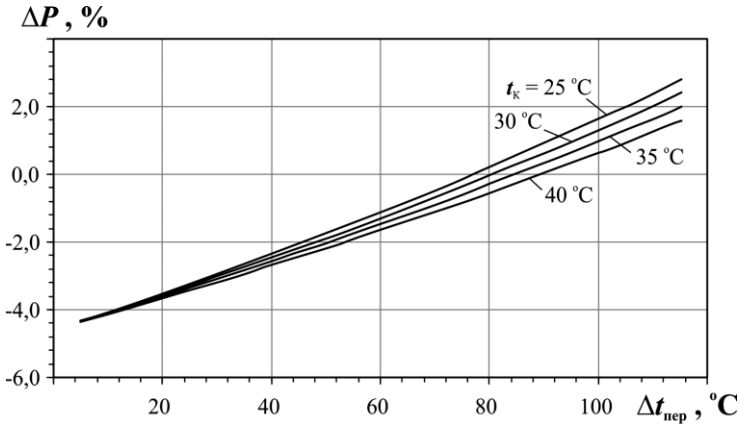


Рис. 16.14. Залежності підвищення тиску в термопресорі  $\Delta P$  від температури перегріву, що знімається,  $\Delta t_{\text{пер}}$  (*a*) і частки рідини, що упорскується,  $g$  (*b*) для різних холодоагентів



**Рис. 16.15.** Залежності збільшення тиску в термопресорі  $\Delta P$  від температури перегріву, що знімається,  $\Delta t_{\text{пер}}$  (а) для холодоагенту R142b при різних температурах конденсації

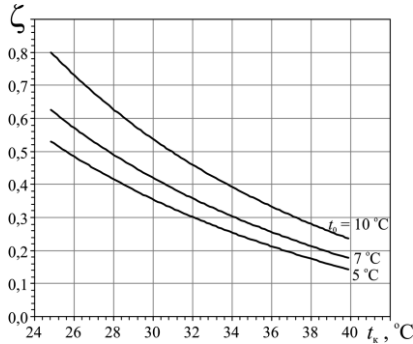
Результати розрахунків показують, що підвищення тиску в термопресорі для широкого діапазону температур конденсації, характерного в ЕХМ ( $t_k = 25 \dots 40^\circ\text{C}$ ) становить 1...2 % або  $0,15 \dots 0,20 \cdot 10^5$  Па при температурі перегріву, що знімається за ежектором  $\Delta t_{\text{пер}} = 80 \dots 110^\circ\text{C}$  [16, 17].

Приріст тиску в 2 % незначний, проте достатній, щоб збільшити тепловий коефіцієнт  $\zeta$  ЕХМ додатково на 10...15 % (рис. 16.16). Температура конденсації  $t_k$  відповідає температурі насичення пара на виході з ежектора. Застосування термопресора дозволяє знизити температуру насичення, а відтак і тиск за ежектором. З рис. 1.16. видно, що зменшення температури навіть на  $1,5 \dots 2,0^\circ\text{C}$  призведе до збільшення  $\zeta$  на  $0,10 \dots 0,15$ , що досить значно, враховуючи що середнє значення  $\zeta$  для ЕХМ традиційно становить  $0,3 \dots 0,4$ .

Підвищити тиск на всмоктуванні в ежектор і при цьому зняти перегрів після регенеративного теплообмінника (РТО) в ЕХМ можливо за рахунок включення в схему установки термопресора ТП (рис. 16.17, а) [18, 19]. Установка працює в такий спосіб: ежектор Еж всмоктує пару з випарника Вп, використовуючи енергію робочої пари високого тиску (точка 10 на рис. 16.17, б), яка надходить з генератора Гн, розширюється в соплі до тиску (точка 11), трохи меншого, ніж тиск пари на виході з РТО (точка 1), і стискається до тиску конденсації (точка 4); процеси 9-10 і 7-8 - кипіння (можливо з перегрівом) в випарнику і



генераторі робочої пари високого тиску; 10-11 - розширення робочої пари в соплі ежектора; 1-2 - зниження тиску всмоктування з РТО пари в приймальній камері ежектора; 2-3 і 11-3 - змішання холодної пари з випарника і пари на виході з сопла ежектора; 3-4 - підвищення тиску змішаної пари в камері змішання і дифузори ежектора.



**Рис. 16.16.** Залежності теплового коефіцієнта  $\zeta$  від температури конденсації для холодоагенту R142b при різних температурах кипіння у випарнику  $t_0$  і температурі кипіння в генераторі  $t_i = 100^\circ\text{C}$

Стиснута в ежекторі Еж пара конденсується в конденсаторі Кн (процес 4-5). Рідкий холодоагент розділяється на два потоки. Перший надходить в РТО, де переохолоджується за рахунок пари після випарника Вп (процес 5-6) і дроселюється в інжекторі Ін (процес 6-7) потім випаровується у випарнику (процес 7-8) і отримана насичена пара перегрівається в РТО (процес 8-1). Другий потік - стискається в насосі ЦН до високого тиску (процес 5-9) і випаровується в генераторі Гн (процес 9-10).

Термопресор встановлюється на всмоктуванні в ежектор після РТО. Для зняття перегріву і підвищення тиску потоку пари після РТО в робочу камеру термопресора упорскується частина рідини після циркуляційного насоса. Для отримання ефекту якомога більшого підвищення тиску необхідно, щоб випаровування рідини було неповним [15]. За термопресором встановлюється віддільник рідини ВР. Рідина після ВР повертається інжектором Ін в випарник. При цьому інжектор виконує функцію дросельного клапану. На рис. 16.17, б пунктиром показані процеси, що відповідають циклу ЕХМ із застосуванням термопресора.

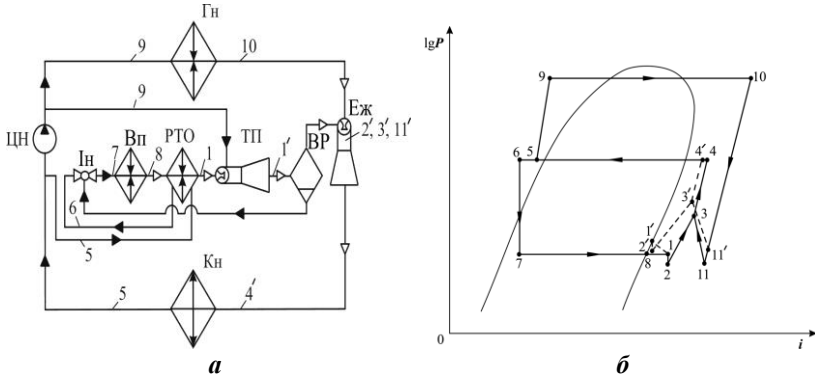


Рис. 16.17. Схема і цикл ЕХМ із застосуванням термопресора в комбінації з ежектором:

Гн - генератор пари; Еж - ежектор; ТП - термопресор; Кн - конденсатор;  
 Вп - випарник; Ін - інжектор; РТО – регенеративний теплообмінник;  
 ВР - віддільник рідини; ЦН - циркуляційний насос

Аналіз роботи установки (рис. 16.18) при температурах кипіння у випарнику  $t_0 = -10...+20\text{ }^\circ\text{C}$ , показує, що при перегріві після РТО  $\Delta t_{\text{пер}} = 100...140\text{ }^\circ\text{C}$  збільшення теплового коефіцієнта ЕХМ на додаток до ефекту від регенерації (в середньому 25 %) складе  $\Delta\zeta = 2...8\text{ \%}$ .

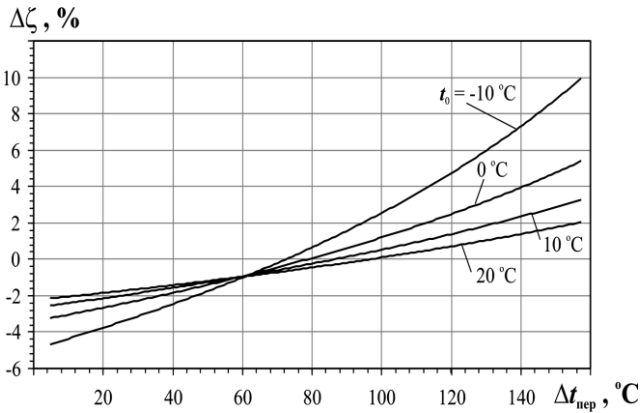


Рис. 16.18. Залежності збільшення теплового коефіцієнта  $\Delta\zeta$  від температури перегріву, що знімається  $\Delta t_{\text{пер}}$  при різних температурах кипіння  $t_0$

Застосування даної схеми дозволяє підвищити ефективність ЕХМ до  $\zeta = 0,5...0,7$ , що робить даний тип машин конкурентними з більш громіздкими тепловикористовуючими абсорбційними холодильними машинами.

### Висновки

1. Концепція використання термогазодинамічного ефекту (термопресії) – підвищення тиску скипаючих газо- і парорідинних потоків – у процесах утилізації скидної теплоти в енергоустановках підприємств харчової промисловості, що забезпечує скорочення витрат потужності на стисання робочого тіла і зумовлених ними енергетичних втрат від внутрішньої незворотності, повернення скидної теплоти в робочий цикл енергоустановки, а звідси дозволяє зменшити споживання енергоустановками палива на 5...10 %.

2. Застосування термопресорної системи дозволяє збільшити тиск наддувного повітря ДВЗ на  $\Delta P = 5...15$  % з одночасним зниженням температури повітря до  $t_{\text{пов2}} = 55...70$  °С, що у свою чергу збільшує потужність компресора на 10...20 %.

3. Використання енергії продуктів згоряння ГТУ шляхом їх розширення нижче атмосферного тиску в додатковій турбіні перерозширення, що встановлюється після основної (силової) турбіни, з подальшим підвищенням їх тиску в термопресорі забезпечує збільшення потужності ГТУ на 20...25 %.

4. Застосування термопресора у складі ежекторної холодильної машини забезпечує підвищення теплового коефіцієнта  $\zeta$  на 10...15 % за рахунок підвищення тиску перед конденсатором.

5. В схемі ежекторної холодильної машини із РТО застосування термопресора забезпечує підвищення теплового коефіцієнта  $\zeta$  на 2...8 % додатково до ефекту від регенерації теплоти в циклі.

### Список використаних джерел

1. Степанов И.Р., Чудинов В.И. *Некоторые задачи движения газа и жидкости в каналах и трубопроводах энергоустановок*. Л.: Наука, 1977. – 200 с.

2. Ерофеев В.Л. *Экспериментальное исследование термопресора // Тр. ленинградского ин-та водного транспорта. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота*. – 1974. – вып. 147. – С. 25–30.

3. Ерофеев В.Л. *Возможности термогазодинамического эффекта как средства повышения экономичности газосиловых установок // Тр. Ленингр. ин-та водного транспорта*. – 1970. – Т. 8. – с. 3–18.

4. Вудис Л.А. Термодинамика газовых потоков. – М.:Л.: Госэнергиздат, 1950. – 304 с.
5. Живица В.И. Промежуточные охладители с термодискомпрессором для двухступенчатых аммиачных холодильных установок // Холодильная техника. – 2002.- № 5.- С.18-20.
6. Живица В.И. Разработка и исследование промежуточного охладителя аммиачной многоступенчатой холодильной машины на основе термодискомпрессора: Автореф. дис. .... канд. техн. наук: ОТИХП. – Одесса, 1980.–19с.
7. Долинский А.А., Басок Б.И., Чумак И.Г., Живица В.И. Технологии в холодильной технике на основе принципа дискретно-импульсного ввода и трансформации энергии // Промышленная теплотехника.– 2002.–т.24, №4.– с. 57–62.
8. Коновалов Д.В. Термодискомпрессионні системи охолодження суднових ДВЗ // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – № 10 (87). – С. 44–48.
9. Коновалов Д.В. Застосування термогазодинамічного ефекту для проміжного охолодження в системах наддувного повітря ДВЗ // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – № 8 (85). – С. 136–140.
10. Коновалов Д.В., Джуринська А.О. Методологічний підхід до охолодження наддувного повітря середньообертового двигуна // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2012. – № 6 (93). – С.73–78.
11. Радченко А.Н., Коновалов Д.В. Газотурбинний двигатель простого цикла с турбиной перерасширения и термодискомпрессором // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2009. – № 10 (674). – С. 98–101.
12. Радченко М.І., Коновалов Д.В., Бойко О.В. Перспективи застосування термодискомпрессионного охолодження в судових газотурбинних установках малої потужності // Зб. наук. пр. НУК. – Миколаїв: НУК, 2013. – №5-6. – с. 29-34.
13. Коновалов Д.В. Оцінка ефективності застосування ефекту термодискомпресії в теплоіспльовуючих холодильних машинах // Зб. наук. пр. НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 1 (424). – С.136-140.
14. Захаров Ю.В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины. – СПб.: Судостроение, 1994. – 504 с.
15. Коновалов Д.В. Судові струминні тепловикористовуючі холодильні установки технологічного призначення // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2009. – Вип. 35. – Т.1. – С.164-166.
16. Радченко Н.І., Коновалов Д.В. Холодильные теплоиспользующие циклы с применением эффекта тепловой компрессии // Авіаційно-космічна техніка і технологія.– 2008. – №8(55). – С. 111–115.
17. Радченко Н.І., Коновалов Д.В. Утилізація сбросной теплоты судовых энергоустановок с генерированием холода и использованием эффекта термодискомпресії // Авіаційно-космічна техніка і технологія.– 2008. – №7(54). – С. 163–167.
18. Радченко Н.І., Коновалов Д.В. Целесообразность трансформации холодильного пароконпрессионного цикла в теплоіспльовуючий на основе газодинамического эффекта // Вестник двигателестроения. – 2008. – № 3. – С. 22–25.

## Розділ 17/Chapter 17

# Эффективность технологий охлаждения воздуха на входе газовых турбин в климатических условиях Ливии

Рами Камел Эл Герби

## Efficiency of gas turbine intake air cooling technologies in climatic conditions of Libya

El Gerbi Rami Kamel\*

*College of Civil Aviation, Tripoli, Libya*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The paper is devoted to increasing the fuel efficiency of gas turbine units (GTU) of a simple cycle by using the heat of exhaust gases in the thermotransformers to cool the intake air. The type and rational parameters of thermotransformers according to climatic conditions are determined. A fuel saving due to cooling of the air at the inlet of GTU in regions of Libya where electricity production in turbogenerators is concentrated has been evaluated.

**Keywords:** *gas turbine unit, fuel consumption, cooling of air, exhaust gas, waste heat recovery, climatic conditions*

---

\* Corresponding author e-mail: [mazd77best@yahoo.com](mailto:mazd77best@yahoo.com)

## Содержание

### Вступление

**17.1. Общая характеристика и проблемы  
электроэнергетической отрасли Ливии из-за  
высоких температур воздуха на входе ГТУ**

**17.2. Оценка повышения топливной эффективности  
ГТУ за счет охлаждения воздуха на входе в  
регионах концентрированного производства  
электроэнергии**

### Выводы

**Список использованных источников**

## Вступление

Основу электроэнергетической отрасли Ливии составляют газовые турбогенераторы (ГТГ). В соответствии с объемами потребления и производства электроэнергии общенациональная сеть электростанций (ЭС) суммарной мощностью 5000 МВт разбита на 6 региональных: Триполи (32 % суммарной мощности всех ЭС), Бенгази (15 %), западный регион (20 %; Завиа, Нелут, Зентан), центральный (18 %; Хон, Сирт, Мисрат), восточный (6 %; Шахат, Тубрак, Салун), Южный (9 %; Джалу, Саба, Кофра, Морзек) [1].

По данным [1] из-за повышенных температур воздуха  $t_{\text{нв}}$  на входе электрогенерирующие мощности ГТУ оказываются на 20 % ниже установленных. Поскольку затраты на введение в эксплуатацию новых ГТГ составляют 700...1500 \$/кВт, а на модернизацию с целью достижения исходной эффективности 150...200 \$/кВт, то предпочтение отдается модернизации ГТГ [1]. Перспективным направлением ее реализации является снижение температуры воздуха  $t_{\text{нв}}$  на входе.

### **17.1. Общая характеристика и проблемы электроэнергетической отрасли Ливии из-за высоких температур воздуха на входе ГТУ**

Климатическая карта Ливии характеризуется значительными различиями тепловлажностных условий эксплуатации ГТУ (температуры  $t_{\text{нв}}$  и относительной влажности  $\phi_{\text{нв}}$  наружного воздуха), в частности, в регионах концентрации производства электроэнергии га-

зотурбинними електростанціями. При однаково високих температурах воздуха его влажность колеблется от 70...80 % в прибрежных регионах до 40 % и ниже в районах, примыкающих к Сахаре (г. Хон, Джало) [2–5]. Следовательно, затраты холодильной мощности на охлаждение воздуха на входе ГТУ в указанных 6 регионах будут также разными.

О тепловлажностных параметрах наружного воздуха (температуре  $t$ , относительной влажности  $\phi$  и влагосодержанию  $d$ ) в основных городах Ливии можно судить по их средним значениям за 2009 год, а также за летние и зимние месяцы (рис. 17.1).

Изменение температуры  $t_{\text{нв}}$ , относительной влажности  $\phi_{\text{нв}}$  и влагосодержания  $d_{\text{нв}}$  наружного воздуха в течение июля 2009 в г. Триполи и г. Хон (южный регион Ливии с сухим жарким климатом) представлено на рис. 17.2 [4, 6, 7].

Как видно, температура наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  на входе ГТУ в течение месяца сохраняется на уровне  $t_{\text{нв}} = 30^\circ\text{C}$ , повышаясь до  $40^\circ\text{C}$  и выше пополудни, что сопровождается резким ухудшением топливной эффективности ГТУ и остро ставит проблему его охлаждения. Поскольку тепловой потенциал отработавших газов ГТУ весьма высокий, то глубина охлаждения воздуха термотрансформаторами (ТТ), утилизирующими теплоту газов, ограничивается температурой  $t_x$  хладагента (НРТ), подаваемого в воздухоохладитель на входе ГТУ. Так, при использовании озонобезопасных хладагентов R142b и R600 (ЭТТ) или аммиака (ВАТТ) воздух может быть охлажден до температуры  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  и даже  $7^\circ\text{C}$  ( $t_x = 2...3^\circ\text{C}$ ), а в случае воды как хладагента (АБТТ) температура охлажденного воздуха  $t_{\text{в2}} = 12...15^\circ\text{C}$  ( $t_x \approx 7^\circ\text{C}$ ).

Объектом исследования являются процессы охлаждения воздуха на входе ГТУ простого цикла трансформацией теплоты отработанных газов, обеспечивающие стабильно низкие температуры воздуха независимо от климатических условий эксплуатации.

Целью исследования является повышение топливной эффективности ГТУ простого цикла путем охлаждения воздуха на входе трансформацией теплоты отработанных газов.

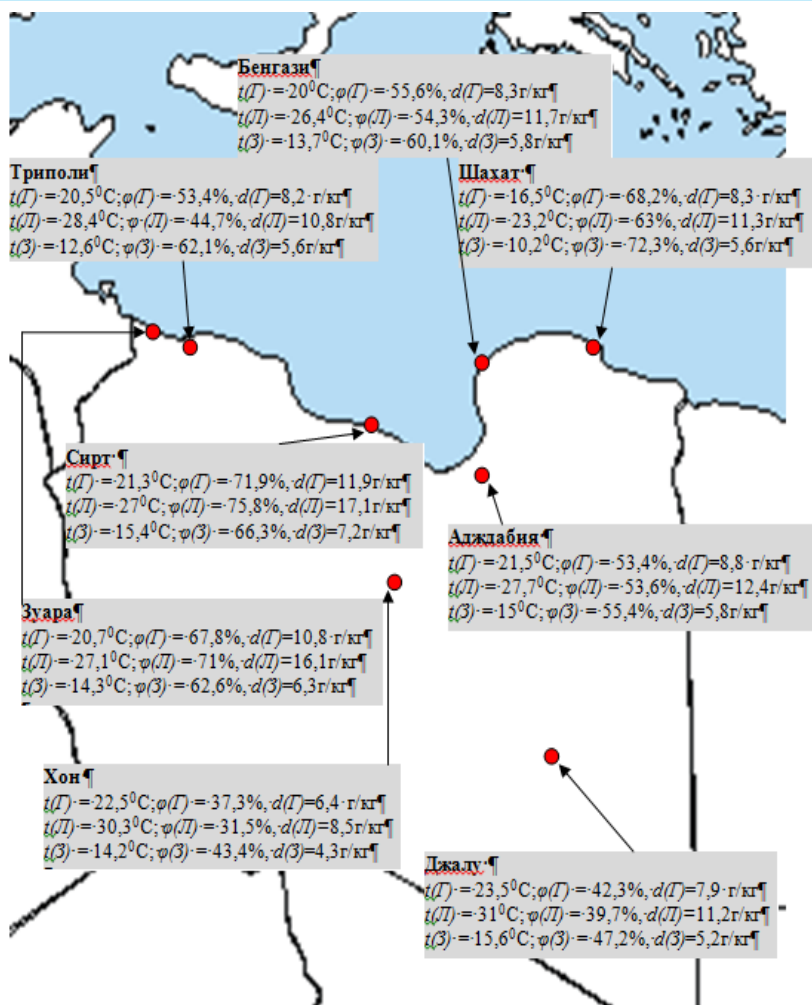


Рис. 17.1. Значения температуры  $t$ , относительной влажности  $\varphi$  и влагосодержания  $d$  в основных городах Ливии: ( $I$ ) – средние за год; ( $II$ ) – средние за летние месяцы; ( $III$ ) – средние за зимние месяцы



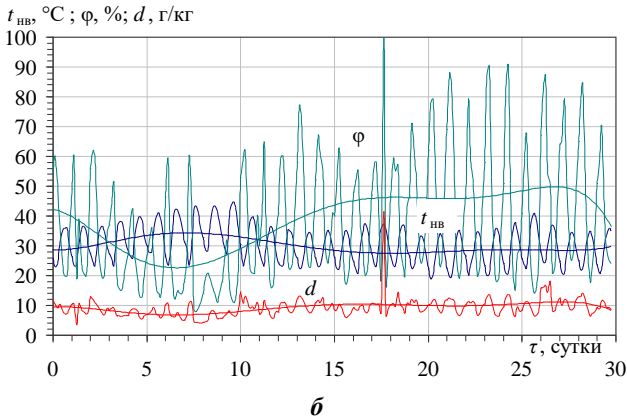
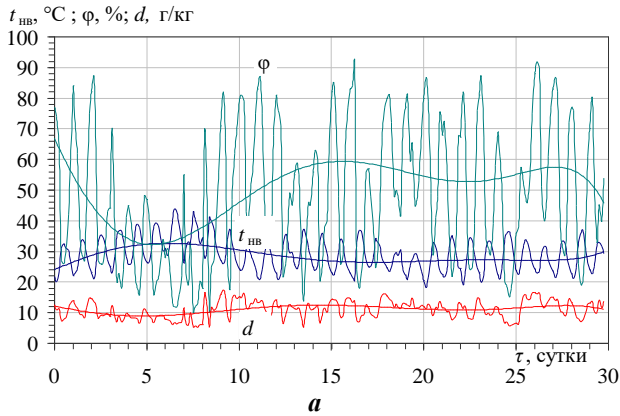


Рис. 17.2. Изменение температуры  $t_{нв}$ , относительной влажности  $\phi$  и влагосодержания  $d$  наружного воздуха в течение июля 2009 г.:  
 а – Триполи; б – Хон

## 17.2. Оценка повышения топливной эффективности ГТУ за счет охлаждения воздуха на входе в регионах концентрированного производства электроэнергии

В соответствии с объемами потребления и производства электроэнергии общенациональная сеть ЭС (суммарной мощностью

5000 МВт) разбита на 6 региональных: Триполи (32 % суммарной мощности всех ЭС, или 1600 МВт), Бенгази (15 %, 750 МВт), западный регион (20 %, 1000 МВт; Завиа, Нелут, Зентан), центральный (18 %; Хон, Сирт, Мисрат), восточный (6 %, 300 МВт; Шахат, Тубрак, Салун), южный (9 %, 450 МВт; Джало, Саба, Кофра, Морзек) [1]. Экономии топлива за счет охлаждения воздуха на входе рассчитывают исходя из мощности всех ГТУ электростанций, расположенных в регионе, и снижения температуры от наружной  $t_{\text{нв}}$  до конечной температуры  $t_{\text{в2}}$  охлажденного воздуха на входе ГТУ.

Поскольку тепловой потенциал отработавших газов ГТУ простого цикла весьма высокий, то глубина охлаждения воздуха трансформаторами, утилизирующими теплоту газов, ограничиваются температурой  $t_x$  хладонотителя (хладагента), подаваемого в воздухоохладитель на входе ГТУ. При использовании в качестве хладагента озонобезопасных хладонов R142В и R600 (ЭТТ) или аммиака (ВАТТ) воздух может быть охлажден до температуры  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  и даже  $7^\circ\text{C}$  ( $t_x = 2...3^\circ\text{C}$ ), а в случае применения воды как хладагента (АБТТ) температура охлажденного воздуха  $t_{\text{в2}} = 12...15^\circ\text{C}$  ( $t_x \approx 7^\circ\text{C}$ ).

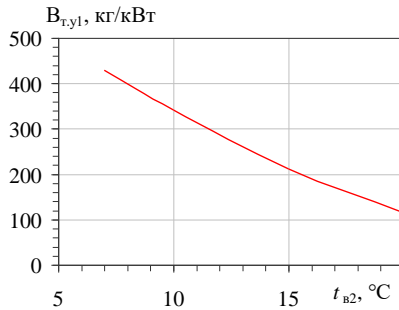
Экономии топлива за счет сокращения удельного расхода топлива  $b_e$  в результате охлаждения воздуха на входе рассчитывают исходя из величин снижения температуры воздуха  $\Delta t_{\text{в}}$ , т.е. охлаждающего потенциала для конкретных климатических условий [7–9]. При этом с учетом влияния температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  на входе на топливную эффективность ГТУ в соответствии с климатическими характеристиками ГТУ, приводимыми фирмами-разработчиками, исходят из снижения удельного расхода топлива  $\Delta b_e$  при охлаждении воздуха на входе ГТУ на определенную величину  $\Delta t_{\text{в}}$ , например,  $\Delta b_e = 0,35 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$  при охлаждении воздуха на входе ГТУ на  $1^\circ\text{C}$ :  $\Delta t_{\text{в}} = 1^\circ\text{C}$  [10, 11].

Экономии топлива за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ по регионам и суммарную по стране в целом рассчитывают с учетом мощности ГТУ всех электростанций, расположенных в регионе.

Для ГТУ с одинаковым влиянием охлаждения воздуха на входе на топливную эффективность, т.е. одинаковой величиной уменьшения удельного расхода топлива  $\Delta b_e$ , приходящейся на  $1^\circ\text{C}$  снижения температуры воздуха на входе ГТУ:  $\Delta b_{e1^\circ\text{C}} = \Delta b_e / \Delta t$ , при оценке годовой экономии топлива весьма удобным показателем является удельная, приходящаяся на 1 кВт электрической мощности ГТУ, экономия топлива  $V_{\text{т},\text{y1}} = V_{\text{т}} / N_e$ , кг/кВт [7, 8].

Зависимость удельной, приходящейся на 1 кВт электрической мощности ГТУ, годовой экономии топлива  $V_{\text{т},\text{y1}} = V_{\text{т}} / N_e$ , кг/кВт, при-

ведена на рис. 17.3. При этом исходили из того, что при снижении температуры воздуха на входе на  $1^\circ\text{C}$  удельный расход топлива уменьшается на величину  $\Delta b_{e1^\circ\text{C}} = \Delta b_e / \Delta t = -0,35 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  [12].



**Рис. 17.3.** Значения удельной (на 1 кВт мощности ГТУ) экономии топлива  $V_{т,у1}$  за год в результате охлаждения воздуха на входе ГТУ до разных конечных температур  $t_{в2}$  (г. Триполи, 2009 г.)

Зная величину удельного показателя сокращения расхода топлива на 1 кВт мощности ГТУ (зависимость  $V_{т,у1} = f(t_{в2})$  на рис. 17.4), можно легко получить годовую экономию топлива  $V_t = V_{т,у1} \cdot N_e$  для ГТУ любой мощности, например,  $N_e = 10 \text{ МВт}$ , и ГТУ суммарной мощностью  $N_e$  [7, 8], конечно, при условии одинакового уменьшения удельного расхода топлива  $\Delta b_e$ , приходящегося на  $1^\circ\text{C}$  снижения температуры воздуха на входе ГТУ:  $\Delta b_{e1^\circ\text{C}} = \Delta b_e / \Delta t$ .

Для удобства пересчета на другие мощности значения получаемой годовой экономии топлива за счет охлаждения воздуха на входе рассчитывали для ГТУ номинальной мощностью 10 МВт.

Значения экономии топлива  $V_t$  для ГТУ мощностью 10 МВт в результате охлаждения воздуха на входе от текущей наружной температуры  $t_{нв}$  до конечных  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (в ВАТТ или ЭТТ) и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (в АБТТ), а также до температуры мокрого термометра  $t_m$  (увлажнение воздуха до состояния насыщения) в течение 2009 г. для г. Триполи и г. Хон даны на рис. 2.2 [13].

Как видно из рис. 17.4 а) более глубокое охлаждение (на  $5^\circ\text{C}$  ниже) в ВАТТ или ЭТТ ( $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ ) по сравнению с АБТТ ( $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ ) или контактным методом – увлажнением воздуха до состояния насыщения (до температуры мокрого термометра  $t_m$ ) обеспечивает в полтора большую экономию топлива: 340 т против 210 т для ГТУ мощностью 10 МВт, г. Триполи.

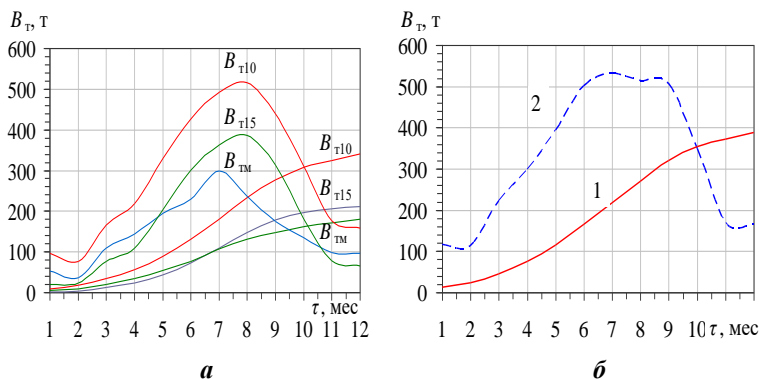


Рис. 17.4. Значения экономии топлива  $B_T$  помесячной и суммарной по нарастающей для ГТУ мощностью 10 МВт в результате охлаждения воздуха на входе от текущей наружной температуры  $t_{нв}$  до конечных  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (в ВАТТ или ЭТТ) и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (в АБТТ), а также до температуры мокрого термометра  $t_m$  (увлажнение воздуха до состояния насыщения) в течение 2009 г. для г. Триполи (а) и г. Хон (б):  $B_{T10}$  и  $B_{T15}$  – при  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  и  $15^\circ\text{C}$ ;  $B_{TM}$  – при  $t_{в2} = t_m$

На рис. 17.5 даны значения посуточно нарастающей экономии топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ (10 МВт) от текущей  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в 4...10 месяцах 2009 г. для регионов г. Триполи и г. Хон (центральный) [14].

На рис. 17.6 приведена годовая экономия топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ (10 МВт) от текущей  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  для разных регионов (2009 г.) [13].

Как видно, эффект от применения охлаждения воздуха на входе ГТУ в разных регионах существенно различается: годовая экономия топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ мощностью 10 МВт составляет примерно 400 т для центрального и южного регионов (г. Хон и Джало) и около 200 т для восточного региона (г. Шахат), т.е. имеет место практически двойного различие. Это обусловлено разными климатическими условиями эксплуатации и, соответственно, величиной снижения температуры воздуха  $\Delta t_b$  при его охлаждении на входе ГТУ от разных температур наружного воздуха  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ .

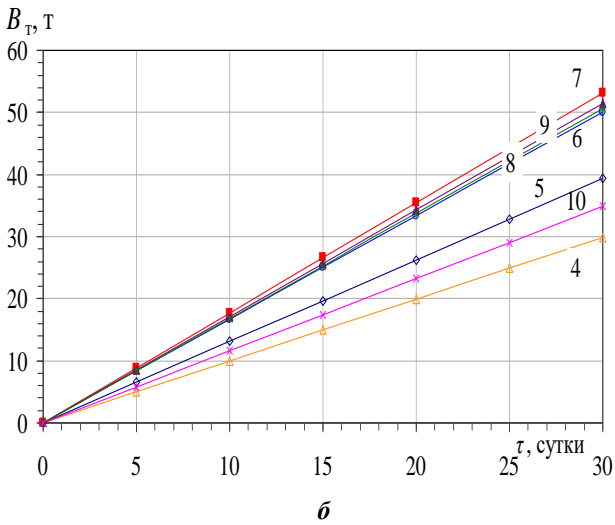
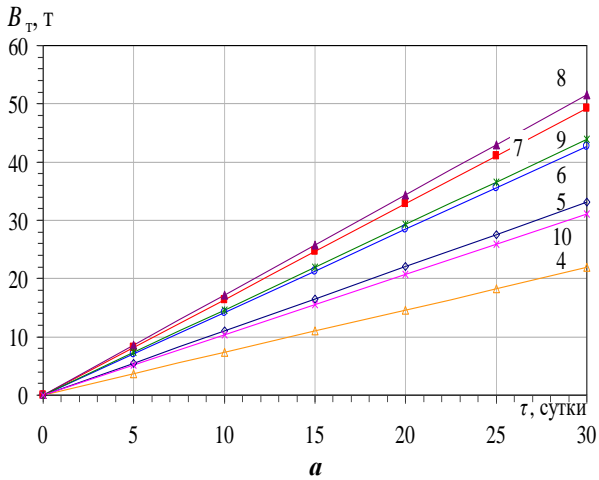


Рис. 17.5. Значения посуточно нарастающей экономии топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ (10 МВт) от текущей  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в 4...10 месяцах 2009 г. для регионов г. Триполи и г. Хон (центральный).

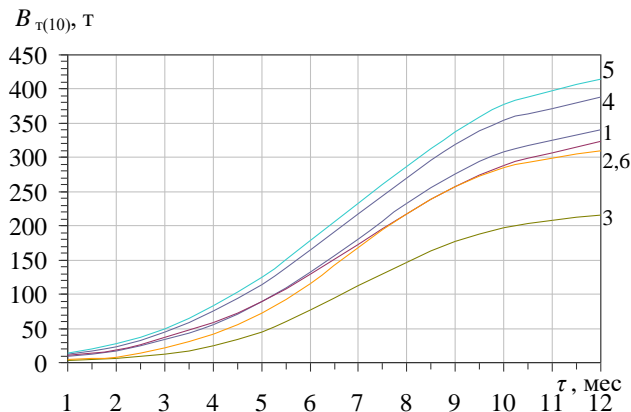


Рис. 17.6. Годовая экономия топлива  $V_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ (10 МВт) от текущей  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  для разных регионов (2009 г.): 1-Триполи; 2-Бенгази; 3- Шахат (восточный регион); 4-Хон (центральный); 5- Джало (южный); 6- Налут (западный регион)

На рис. 17.7 даны значения годовой экономии топлива  $V_T$  одной ГТУ номинальной мощностью 10 МВт при разных конечных температурах  $t_{в2}$  охлажденного воздуха на входе для основных регионов Ливии, в которых расположены газотурбинные ЭС [12].

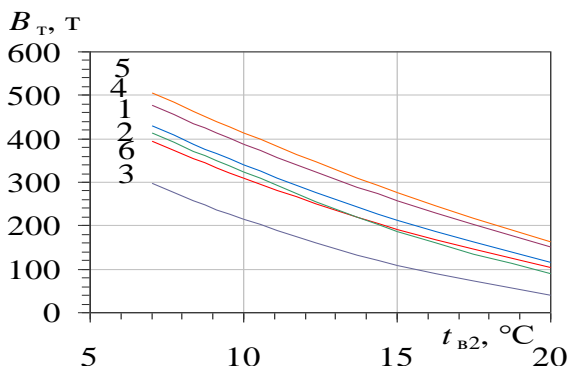


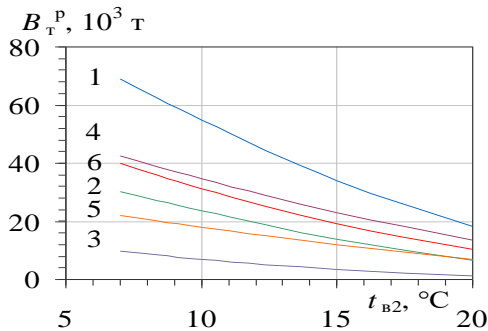
Рис. 17.7. Значения годовой экономии топлива  $V_T$  одной ГТУ номинальной мощностью 10 МВт при разных конечных температурах  $t_{в2}$  охлажденного воздуха для регионов Ливии, в которых расположены газотурбинные ЭС, за 2009 г.: 1 – Триполи; 2 – Бенгази; 3 – Шахат (восток); 4 – Хон (центр); 5 – Джало (юг); 6 – Налут (запад)

При этом принимали, что при охлаждении воздуха на входе ГТУ на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  удельный расход топлива сокращается на величину  $\Delta b_e = 3,5\text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$  [10, 11].

Как видно, эффект от применения того или иного способа охлаждения воздуха на входе конкретной ГТУ (соответственно, температуры  $t_{в2}$  охлажденного воздуха) существенно зависит от климатических условий региона, превышая, например, для центрального и южного регионов (кривые 4 и 5) практически в два раза его величину для восточного региона (кривая 3).

При оценке суммарного для электрогенерирующей отрасли страны эффекта от применения того или иного способа охлаждения воздуха на входе ГТУ помимо влияния снижения температуры воздуха на входе на топливную эффективность конкретных ГТУ необходимо учитывать электрические мощности ЭС, сосредоточенные в каждом из 6 регионов [1].

Значения годовой экономии топлива  $V_T^P$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ для указанных 6 регионов с учетом электрической мощности всех ЭС, расположенных в регионах, при разных конечных температурах  $t_{в2}$  охлажденного воздуха (разных способах охлаждения) приведены на рис. 17.8 [12].



**Рис. 17.8.** Значения годовой экономии топлива  $V_T^P$  за счет охлаждения воздуха на входе всех ГТУ электростанций для 6 регионов при конечных температурах  $t_{в2}$  охлажденного воздуха (разных способах охлаждения) за 2009 г.: 1 – Триполи (32 %, 1600 МВт); 2 – Бенгази (15 %, 750 МВт); 3 – Шахат (восток, 6 %, 300 МВт); 4 – Хон (центр, 18 %, 900 МВт); 5 – Джало (юг, 9 %, 450 МВт); 6 – Налут (запад, 20 %, 1000 МВт)

Как видно, при охлаждении воздуха в АБТТ ( $t_{в2} = 12...15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) значения годовой экономии топлива за счет охлаждения воздуха на

входе ГТУ для всех ГТУ ЭС и климатических условий, например, Триполи (кривая 1), составляет 30000...48000 т, тогда как в ВАТТ или ЭТТ ( $t_{B2} = 7...10^{\circ}\text{C}$ ) –  $V_{T,P} = 55000...68000$  т, т.е. примерно в 1,8...1,4 раза больше, что свидетельствует о существенной зависимости экономии топлива от глубины охлаждения воздуха на входе ГТУ и, следовательно, типа термотрансформатора.

Значения годовой экономии топлива  $V_{T,10\text{MBT}}$ , т, за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ электрической мощностью 10 МВт в зависимости от соответствующих затрат холодильной мощности  $Q_{0,10\text{MBT}} = q_0 G_{B,10\text{MBT}}$ , кВт, при разных конечных температурах охлажденного воздуха  $t_{B2}$  (г. Триполи, 2009 г.):  $V_{T,7...20}$  при  $t_{B2} = 7; 10; 15$  и  $20^{\circ}\text{C}$  приведены на рис. 17.9. При этом считали, что для ГТУ электрической мощностью 10 МВт расход воздуха  $G_{B,10\text{MBT}} = 40$  кг/с (взято по аналогии с LM1600) [1], исходя из чего затраты холодильной мощности на охлаждение воздуха расходом  $G_{B,10\text{MBT}} = 40$  кг/с, рассчитывали как  $Q_{0,10\text{MBT}} = q_0 G_{B,10\text{MBT}} = (c_{\text{вл}} \xi \cdot \Delta t) G_{B,10\text{MBT}}$ , кВт. Здесь  $\xi$  – коэффициент влаговыведения, представляющий собой отношение полного количества теплоты (разности энтальпий воздуха в охладителе), отведенной от влажного воздуха с учетом теплоты конденсации содержащихся в воздухе водяных паров, к количеству явной теплоты, определяемому разностью температур по сухому термометру,  $\xi = (I_{B1} - I_{B2}) / [c_{\text{вл}} \cdot (t_{B1} - t_{B2})]$ , где  $I_{B1}$  и  $I_{B2}$  – энтальпии влажного воздуха на входе и выходе из охладителя. Величина  $\xi = 1$  соответствует охлаждению без выпадения влаги [7].

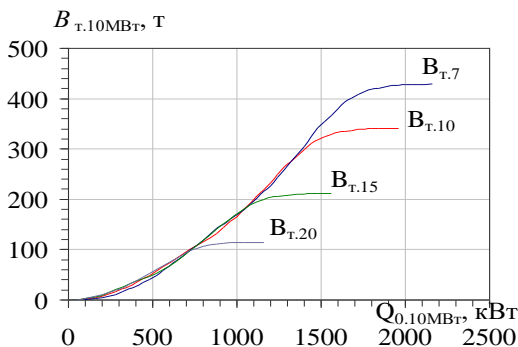


Рис. 17.9. Значения годовой экономии топлива  $V_{T,10\text{MBT}}$ , т, за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ электрической мощностью 10 МВт в зависимости от соответствующих затрат холодильной мощности  $Q_{0,10\text{MBT}} = q_0 G_{B,10\text{MBT}}$ , кВт, при разных конечных температурах охлажденного воздуха  $t_{B2}$  (г. Триполи, 2009 г.):  $V_{T,7...20}$  при  $t_{B2} = 7; 10; 15$  и  $20^{\circ}\text{C}$

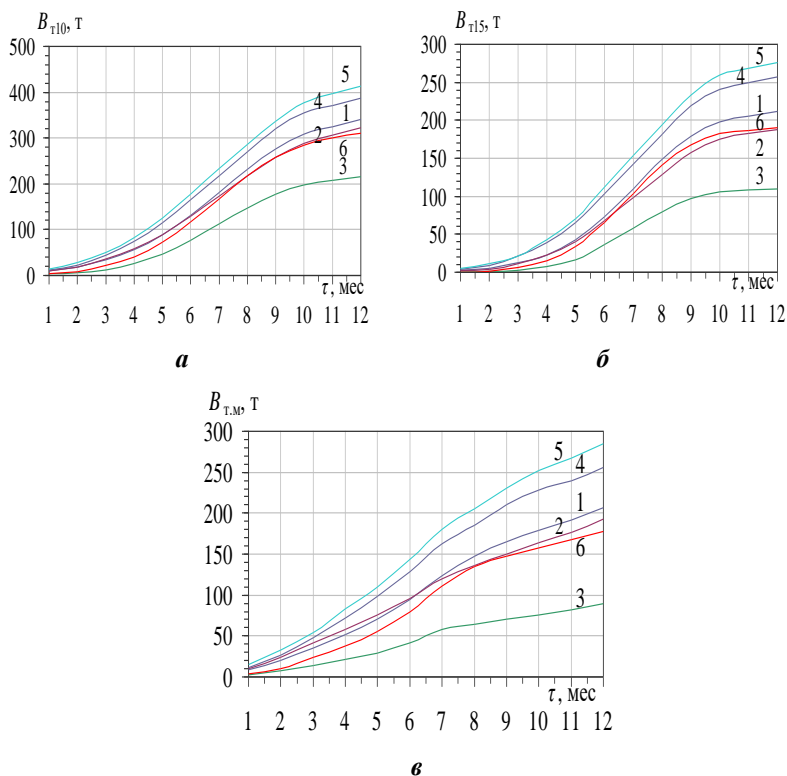


Как видно, при охлаждении воздуха на входе ГТУ электрической мощностью 10 МВт в ВАТТ или ЭТТ ( $t_{B2} = 10^\circ\text{C}$ ) экономия топлива  $V_{T,10}$  составляет 320 т, для чего необходимо применить ВАТТ или ЭТТ установленной холодильной мощностью  $Q_{0,10\text{МВт}} = 1500$  кВт. Применение же более мощной ВАТТ или ЭТТ не приводит к заметному сокращению потребления топлива: при ее увеличении до  $Q_{0,10\text{МВт}} = 2000$  кВт, т.е. на 30 %, экономия топлива  $V_{T,10}$  возрастает с 320 т до 340 т, т.е. всего на 6 %. Поэтому холодильная мощность  $Q_{0,10\text{МВт}} = 1500$  кВт является величиной рациональной [7, 8, 15]. В случае охлаждения воздуха на входе ГТУ в АБТТ ( $t_{B2} = 15^\circ\text{C}$ ) экономия топлива  $V_{T,15} = 320$  т, для чего необходимо применять АБТТ установленной холодильной мощностью  $Q_{0,10\text{МВт}} = 1100$  кВт. Максимальная же экономия топлива достигается при охлаждении воздуха на входе ГТУ до  $t_{B2} = 7^\circ\text{C}$  (в ВАТТ или ЭТТ):  $V_{T,7} = 400 \dots 420$  т, в ВАТТ или ЭТТ установленной холодильной мощностью  $Q_{0,10\text{МВт}} = 1700 \dots 1800$  кВт.

На рис. 17.10 приведена годовая экономия топлива  $V_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ мощностью 10 МВт от текущей температуры  $t_{\text{нв}}$  до  $t_{B2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАТТ или ЭТТ),  $t_{B2} = 15^\circ\text{C}$  (в АБТТ), увлажнением воздуха до  $t_m$  для климатических условий 6 регионов: 1-Триполи; 2-Бенгази; 3-восточный (Шахат); 4-центральный (Хон); 5-Южный (Джало); 6-западный регион (Налут) [13].

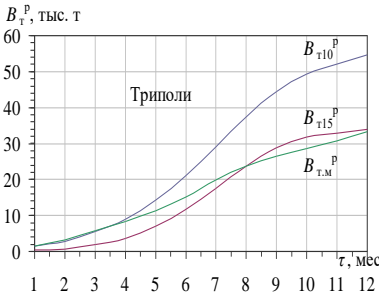
Исходя из мощности ГТУ всех электростанций в каждом из 6 регионов рассчитана годовая экономия топлива  $V_T^P$  за счет охлаждения воздуха от текущей температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  до  $t_{B2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАТТ или ЭТТ),  $t_{B2} = 15^\circ\text{C}$  (АБТТ) и увлажнением воздуха до  $t_m$  на входе ГТУ за 2009 г (рис. 17.11) [12].

Как видно, за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ суммарной мощностью 1600 МВт (г. Триполи) в ВАТТ или ЭТТ можно сэкономить 55000 т топлива (природного газа) за год. Используя сэкономленное топливо, можно выработать дополнительно  $230 \cdot 10^6$  кВт·ч электроэнергии (при удельном расходе топлива  $b_e$  на производство 1 кВт·ч электроэнергии 240 г/(кВт·ч)), на располагаемых мощностях ГТУ. Иначе для получения этих дополнительных  $230 \cdot 10^6$  кВт·ч электроэнергии (при традиционной эксплуатации ГТУ без охлаждения воздуха на входе) необходимо было бы ввести в эксплуатацию газотурбинную электростанцию мощностью 26 МВт, т.е. 1,6 % суммарной электрической мощности установленных в Триполи ГТУ (1600 МВт) с годовым потреблением топлива примерно 3360000 т.

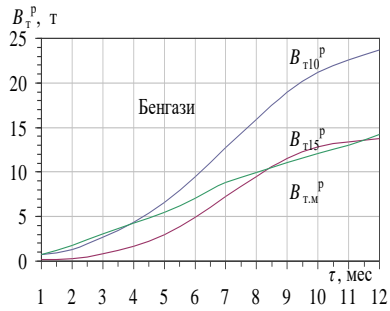


**Рис. 17.10.** Годовая экономия топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ мощностью 10 МВт от текущей температуры  $t_{\text{нв}}$  до  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$  в ВАТТ или ЭТТ (*a*),  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ (*б*), увлажнением воздуха до  $t_m$  (*в*):  
 1-Триполи; 2-Бенгази; 3-восточный (Шахат); 4-центральный (Хон);  
 5-Южный (Джало); 6-западный регион (Налут)

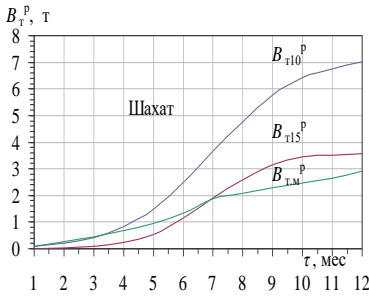
Исходя из суммарной мощности всех электростанций Ливии (около 5000 МВт) и объемов производства электроэнергии в 6 региональных системах, была рассчитана годовая экономия топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ от текущей  $t_{\text{нв}}$  до  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАТТ или ЭТТ),  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$  (АБТТ) и увлажнением воздуха до  $t_m$  для электростанций в каждом из 6 регионов (рис. 17.12) [13].



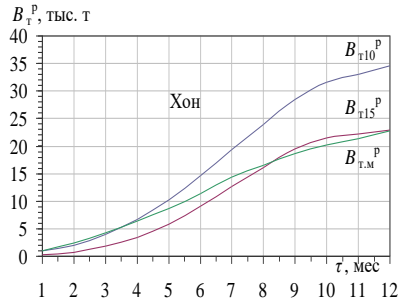
*a*



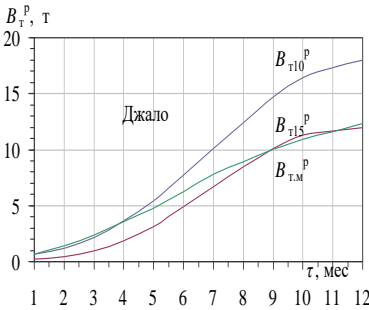
*б*



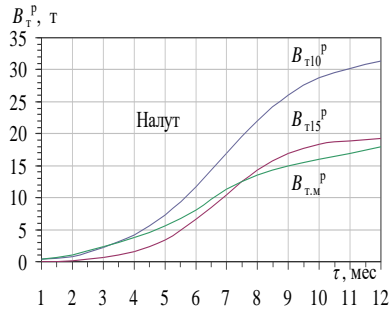
*в*



*г*



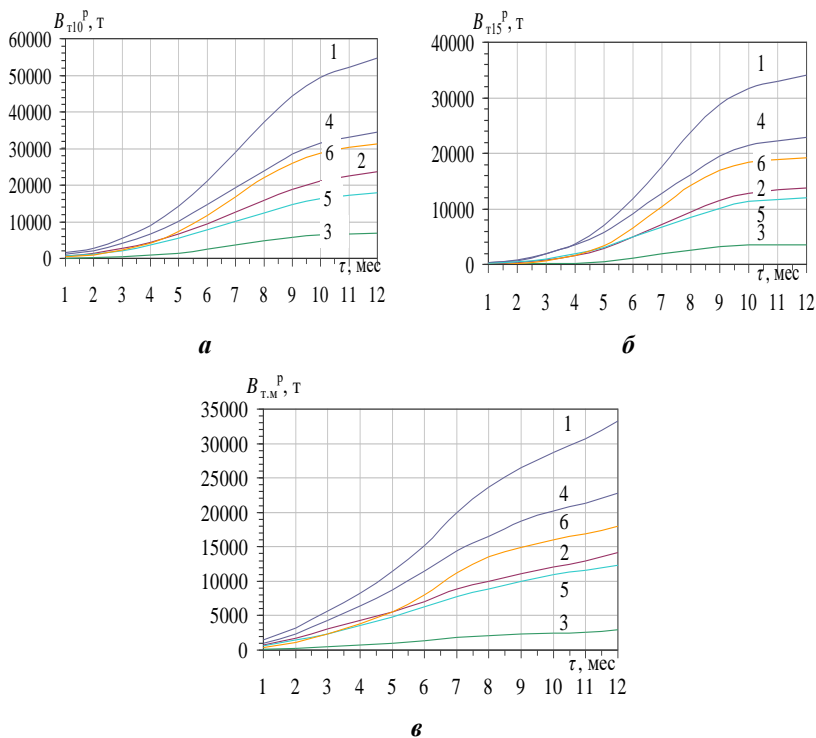
*д*



*е*

**Рис. 17.11.** Годовая экономия топлива  $B_T^P$  за счет охлаждения воздуха от текущей температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (ВАТТ или ЭТТ),  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (АБТТ) и увлажнением воздуха до  $t_m$  на входе всех ГТУ электростанций 6 регионов за 2009 г.:  $B_{t_{10}}^P$  – при  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ ;  $B_{t_{15}}^P$  – при  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ ;  $B_{t_m}^P$  – при  $t_{в2} = t_m$ ; *a* – Триполи (32 %, 1600 МВт); *б* – Бенгази (15 %, 750 МВт); *в* – восток (Шахат, 6 %, 300 МВт); *г* – центр (Хон, 18 %, 900 МВт); *д* – юг (Джалло, 9 %, 450 МВт); *е* – запад (Налут, 20 %, 1000 МВт)

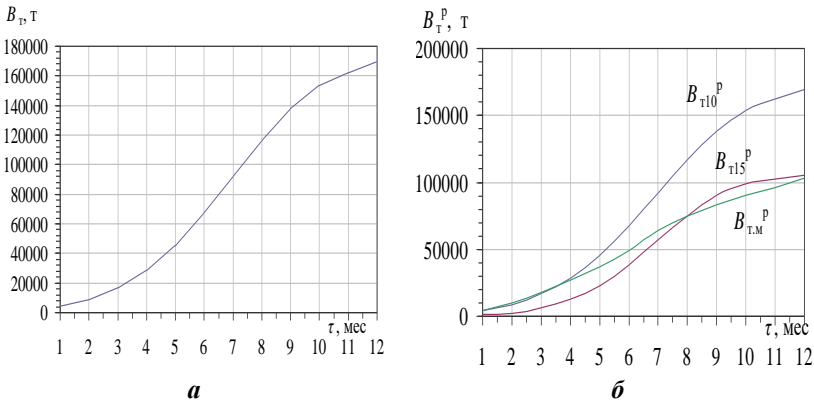
Как видно, годовая экономия топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ во всех регионах весьма значительная, а ее различие объясняется климатическими условиями регионов (соответственно и глубиной охлаждения воздуха), а также суммарными мощностями электростанций.



**Рис. 17.12.** Годовая экономия топлива  $B_T^P$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ от текущей температуры  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в ВАТТ или ЭТТ (*а*),  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ (*б*), увлажнением воздуха до  $t_m$  (*в*) для электростанций в 6 регионах: 1-Триполи; 2-Бенгази; 3-восточный (Шахат); 4-центральный (Хон); 5-южный (Джало); 6-западный (Налут)

Об общей экономии топлива за 2009 г. в результате перехода ГТУ всех электростанций 6 регионов суммарной мощностью около

5000 МВт на експлуатацію с охолодження воздуха на входе можно судить по рис. 17.13 [13].



**Рис. 17.13.** Общая годовая экономия топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ от текущей температуры  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (а),  $t_{в2} = 10$  и  $15^\circ\text{C}$ , а также увлажнением воздуха до  $t_m$  (б) для всех электростанций 6 регионов суммарной мощностью около 5000 МВт

Как видно, переход ГТУ всех электростанций на эксплуатацию с охлаждением воздуха на входе обеспечивает весьма значительную годовую экономию топлива  $B_T = 170$  тыс.т. На сэкономленном топливе можно выработать дополнительно 700-ГВт·ч электроэнергии (при удельном расходе топлива  $b_e$  на производство 1 кВт·ч электроэнергии 240 г/(кВт·ч)), на располагаемых мощностях ГТУ. При традиционной работе ГТУ без охлаждения воздуха на входе для получения дополнительных 700-ГВт·ч электроэнергии потребовалось бы введение в эксплуатацию газотурбинной электростанции мощностью 80 МВт.

Следует отметить, что значения эффекта для способа охлаждения воздуха на входе ГТУ его увлажнением до состояния насыщения ( $\varphi = 100\%$ ) с понижением температуры воздуха до ее значения по мокрому термометру  $t_m$  несколько завышено (примерно на 10%), поскольку относительная влажность повышается практически до  $\varphi \approx 90\%$ , а не 100% (во избежание выпадения влаги во всасывающем диффузоре компрессора ГТУ), кроме того, при расчетах не вводилось ограничение по минимальной температуре  $t_m$ , которая в относительно прохладные месяцы  $t_m$  может опускаться ниже  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  и даже  $10^\circ\text{C}$ . В такие прохладные периоды потребность в охлаждении воздуха на

входе ГТУ может отсутствовать вообще. Поэтому в действительности разница в эффекте от охлаждения воздуха на входе ГТУ в АБТТ ( $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и его увлажнением более значительная.

На рис. 17.14 и 17.15 приведены диаграммы потенциально возможного эффекта от охлаждения воздуха на входе ГТУ в виде экономии топлива  $B_T$  и увеличения производства электроэнергии  $\Sigma(\Delta N_{e\Sigma} \cdot \tau)$  с учетом мощностей электрогенерирующих ГТУ и климатических условий 6 регионов.

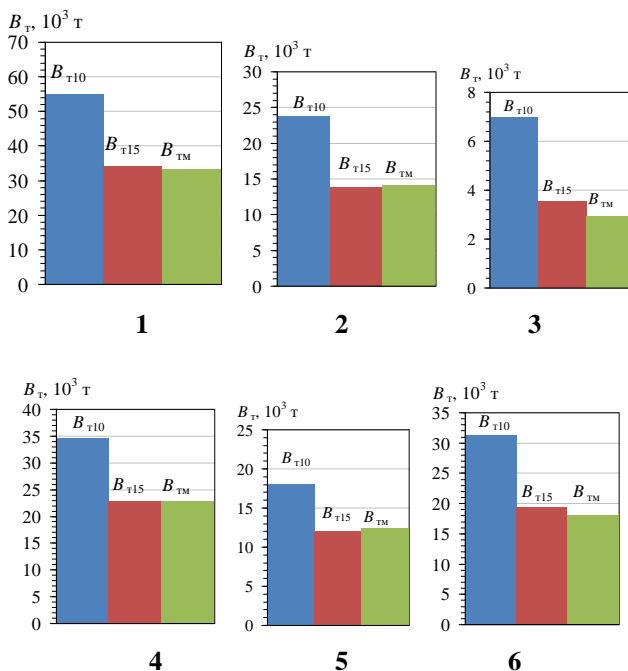


Рис. 7.14. Значения экономии топлива  $B_T$  за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ от наружной температуры  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в ВАТТ или ЭТТ),  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в АБТТ) и увлажнением воздуха до  $t_m$  для 6 регионов концентрированного производства электроэнергии за 2009 г.:

- 1-Триполи; 2-Бенгази; 3-восточный (Шахат); 4-центральный (Хон);  
5-южный (Джало); 6-западный (Налут)

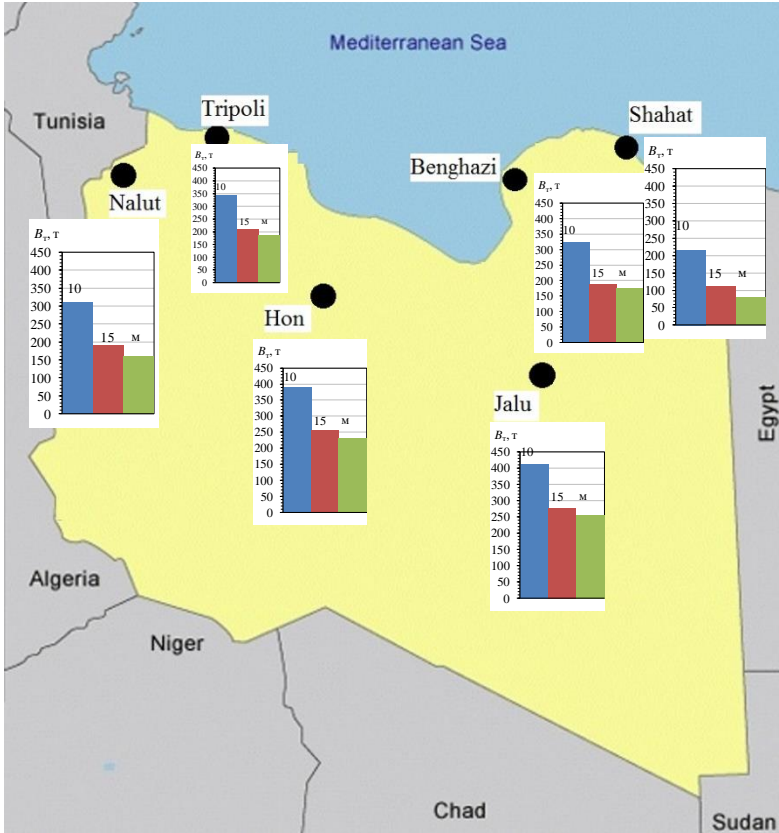


Рис. 17.15. Значення годової економії палива  $B_t$  за счет охолодження повітря на вході ГТУ от текущої температури  $t_{вв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (в ВАТТ или ЕТТ),  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (в АБТТ) и увлажнення повітря до  $t_m$  для ГТУ електростанцій 6 регіонів: 1-Триполі; 2-Бенгази; 3-восток (Шахат); 4-центр (Хон); 5-юг (Джало); 6-запад (Налут)

## Выводы

1. Выявлены резервы повышения топливной эффективности электрогенерирующих ГТУ простого цикла использованием теплоты

отработанных газов для охлаждения воздуха на входе в климатических условиях Ливии.

2. Определены рациональные тип и параметры термотрансформатора для охлаждения воздуха на входе ГТУ, прежде всего холодильная мощность (холодопроизводительность) и температура хладоносителя, которые учитывают текущие значения снижения температуры воздуха на входе ГТУ и их продолжительность в течение года для климатических условий регионов Ливии, где расположены ЭС.

3. Для сухого тропического климата проектную тепловую нагрузку термотрансформаторов (установленную холодильную мощность) принимают на 20...30 % ниже максимальной, а не максимальную в течение года тепловую нагрузку, как принято в практике проектирования.

4. Составлена климатическая карта для регионов Ливии, в которых сконцентрировано производство электроэнергии, позволяющая оценивать потенциал охлаждения воздуха на входе ГТУ и эффект от его реализации, определять рациональные тип и установленную мощность термотрансформатора, обеспечивающие уменьшение расхода топлива и увеличение производства электроэнергии за счет поддержание температуры воздуха на входе ГТУ близкой 10 °С.

### Список использованных источников

1. *Planning Electrical Power System Studies for Libya (Demand Forecasting & Generation Expansion Planning until 2025) [Text]. – Final Report, 2008: General People's Committee of Electricity, Water & Gas (GPCoEWG), ICEPCO, 2008. – 193 p.*

2. Радченко, Н.И. Охлаждение наружного воздуха на входе ГТД теплоиспользующими холодильными машинами в условиях переменных температуры и влажности [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Ёл Герби // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 9(76). – С. 54–58.

3. Радченко, Н.И. Региональные особенности применения теплоиспользующих систем охлаждения воздуха на входе электрогенерирующих газотурбинных установок в климатических условиях Ливии [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Ёл Герби // *Наукові праці ОНАХТ*. – Одеса: ОНАХТ. – 2011. – Вип.39. – Т.1. – С. 93–97.

4. Радченко, Н.И. Охлаждение воздуха на входе газотурбинных двигателей использованием теплоты уходящих газов в климатических условиях Ливии [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Ёл Герби // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 6(83). – С. 73–76.

5. Радченко, Н.И. Топливная эффективность охлаждения наружного воздуха на входе газотурбогенераторов в климатических условиях Ливии



[Текст] / Н.И. Радченко, Рами Єл Герби // Зб. наук. праць ДонНУЕТ. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2012. – Вип. 29. – Т.2. – С.139–145.

6. Радченко, Н.И. Охлаждение воздуха на входе газотурбинных двигателей с учетом климатических условий Ливии [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Єл Герби // Холодильна техніка та технологія. – 2012. – Вип. 4. – С. 258–263.

7. Радченко, Н.И. Анализ эффективности охлаждения воздуха на входе газотурбинных двигателей в жарких климатических условиях [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Єл Герби, Рамзи Єл Герби // Газотурбинные технологии: Рыбинск, Россия. – 2013. – № 4 (115). – С. 34–39.

8. Радченко, А.Н. Термозкономический метод анализа эффективности охлаждения воздуха на входе двигателей теплоиспользующими холодильными машинами [Текст] / А.Н. Радченко // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – № 5(151). – С. 30–36.

9. Радченко Н.И., Эл Герби Рами Камел. Выбор холодильной мощности установки охлаждения воздуха на входе ГТУ для климатических условий Ливии [Текст] / Н.И. Радченко, Эл Герби Рами Камел // Зб. наук. праць НУК. – 2015. – Вип. № 6 (462). – С.64–69.

10. Bortmany J.N. Assesmtment of aqua-ammonia refrigeration for pre-cooling gas turbine inlet air [Text] / J.N. Bortmany // Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002. – Paper GT-2002-30657. – 12 p.

11. Bhargava R. Parametric analysis of existing gas turbines with inlet evaporative and overspray fogging / R. Bhargava, C.B. Meher-Homji // Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002.–Paper GT-2002-30560.– 15 p.

12. Эл Герби Рами Камел, Радченко, Н.И. Оценка топливной эффективности охлаждения воздуха на входе газовых турбин для климатических условий разных регионов Ливии [Текст] //Эл Герби Рами Камел, Н.И. Радченко / Зб. наук. праць НУК. – 2016. – Вип. № 2(464). – С.64–70.

13. Радченко, Н.И. Эффект от охлаждения воздуха на входе газотурбинных электростанций в разных регионах Ливии [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Єл Герби // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 1 (98). – С. 76–79.

14. Радченко, Н.И. Выбор способа охлаждения воздуха на входе ГТУ в зависимости от региональных климатических условий. [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Єл Герби // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 2 (99). – С. 97–102.

15. Radchenko, M. Refrigeration capacity of gas turbine intake air cooling systems for climatic conditions of Libya/ M. Radchenko, Rami Kamel El Gerbi // Proceedings of the 16 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE-2016. – Szczecin, Poland. – 2016. – P. 383–389.

## Розділ 18/Chapter 18

# Система совместного охлаждения технологического назначения и воздуха на входе регенеративных газовых турбин для климатических условий Ливии

Рамзи Камел Эл Герби

## System for integrated technological and regenerative gas turbine intake air cooling purposes for climatic conditions of Libya

El Gerbi Ramzi Kamel\*

*Higher Institute of Comprehensive Professions, Tripoli, Libya  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The efficiency of integrated energy system based on the regenerative mini gas turbines (GT) and two-stage absorption-ejector heat transformer using the exhaust heat for technological and gas turbine intake air cooling purposes is investigated. The considered integrated energy system provides simultaneous technological cooling for air conditioning and deep cooling of GT intake air and reduce in fuel consumption for high ambient air temperatures consequently.

**Keywords:** *integrated energy system, absorption chiller, ejector chiller, regenerative gas turbine engine, engine intake air, air conditioning*

---

\* Corresponding author e-mail: [mazd77best@yahoo.com](mailto:mazd77best@yahoo.com)

Зміст

*Вступлення*

*18.1. Обоснование рационального способа трансформации сбросной теплоты в холод технологического и энергетического назначения в установках автономного энергообеспечения*

*18.2. Рациональные параметры трансформаторов сбросной теплоты установок автономного энергоснабжения при эксплуатации в тропических условиях Ливии*

*Выводы*

*Список использованных источников*

**Вступлення**

В соответствии с общемировой тенденцией децентрализации энергоснабжения все большее распространение приобретают установки автономного энергообеспечения (Integrated Energy Systems) – электро-, тепло- и холодообеспечения. В качестве базовых двигателей таких установок широко применяются газотурбинные двигатели (ГТД) малой мощности (до 300 кВт) регенеративного типа – с нагревом сжатого воздуха перед камерой сгорания уходящими газами, предназначенные кроме электроснабжения еще и для получения горячей воды с температурой 90...95 °С и даже 110 °С (под давлением).

Ряд двигателестроительных фирм в целях сокращения сроков введения в эксплуатацию и снижения трудоемкости работ по месту наладки выпуск энергоустановок в когенерационном исполнении, в частности, газотурбинных двигателей (ГТД) малой мощности (до 300 кВт) с водогрейными котлами-экономайзерами для получения горячей воды, используемой, в свою очередь, в качестве теплоносителя для теплоиспользующих холодильных машин (ТХМ) – термотрансформаторов [1, 2].

Вследствие высоких температур наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  на входе эффективность ГТД резко снижается: удельный расход топлива  $b_e$  увеличиваются, а эффективная мощность  $N_e$  падает до 70...80 % номинальной величины. Так, с повышением  $t_{\text{нв}}$  на 10 °С эффективный коэффициент полезного действия  $\eta_e$  регенеративной микротурбины "Ingersoll Rand" GT250 ("FlexEnergy", MT250) понижается на 3...4 % (в относительных величинах по сравнению с  $t_{\text{нв}} = 15$  °С), а удельный

расход топлива  $b_e$  соответственно увеличивается и его увеличение в абсолютных величинах составляет примерно  $\Delta b_e \approx 7 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ . При этом мощность  $N_e$  уменьшается в относительных величинах (по сравнению с  $t_{\text{вв}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) на 8...10 % [1]. С повышением температуры воздуха на входе ГТД С1000 на  $\Delta t = 1 \text{ }^\circ\text{C}$  удельный расход топлива увеличивается на величину  $\Delta b_e / \Delta t = 0,7 \text{ г/(г/(кВт}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C)}$ , а мощность  $\Delta N_e / N_{e\text{ISO}} / \Delta t$  падает примерно на 0,8 % по сравнению с номинальной при  $t_{\text{вв}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  согласно стандарту ISO [2].

Поэтому резервы совершенствования газотурбинных установок автономного энергоснабжения связаны с охлаждением воздуха на входе путем трансформации сбросной теплоты выпускных газов в холод.

С целью снижения температуры воздуха на входе ГТД целесообразно трансформировать в холод теплоту отработавших газов. Поскольку температура газов после регенеративного теплообменника, определяющая располагаемый тепловой потенциал, сравнительно невысокая (примерно  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ), то повышение эффективности трансформации их теплоты в холод является актуальной задачей.

Существующие абсорбционные бромистолитиевые термотрансформаторы (АБТТ), т.е. абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ), способны охлаждать воздух на входе ГТД не ниже  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , поскольку температура получаемого в них хладоносителя (холодной воды)  $t_x = 7...10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Поэтому они применяются, как правило, для технологического холодоснабжения, в частности, кондиционирования воздуха объектов разного назначения (офисов, торговоразвлекательных, гостиничных и других комплексов). В то же время тепловой потенциал выпускных газов регенеративных ГТД (температура уходящих газов  $t_{\text{гр}} \approx 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ) недостаточный для эжекторных термотрансформаторов (ЭТТ) на низкокипящих рабочих телах (НРТ), т.е. эжекторных холодильных машин (ЭХМ), с температурой  $t_x \approx 2...5 \text{ }^\circ\text{C}$ , которым свойственна невысокая эффективность трансформации теплоты в холод (тепловые коэффициенты  $\zeta = 0,15...0,35$ ) и в которых возможно глубокое (до  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  и ниже) охлаждение воздуха, но при наличии достаточного количества сбросной теплоты.

Таким образом, из-за сравнительно невысокого теплового потенциала выпускных газов ГТД установок автономного энергообеспечения существующие термотрансформаторы не в состоянии обеспечить комплексное холодоснабжение: охлаждение циклового воздуха на входе ГТД и кондиционирование воздуха объектов разного назначения в условиях тропического климата.

Очевидно, что резервы совершенствования газотурбинных установок (ГТУ) автономного энергообеспечения на базе регенеративных ГТД с ограниченным потенциалом сбросной теплоты выпускных газов связаны с повышением эффективности трансформации теплоты газов в холод и разработкой термотрансформаторов принципиально нового комбинированного типа с использованием преимуществ существующих термотрансформаторов: высоких коэффициентов трансформации теплоты  $\zeta$  в АБТТ и возможностью глубокого охлаждения воздуха на входе ГТД до температуры  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже в ЭТТ на НРТ [3, 4].

Объектом исследования являются процессы совместного охлаждения воздуха технологического и энергетического (на входе ГТД) назначения трансформацией теплоты выпускных газов в установках автономного электро-, тепло- и холодообеспечения при ограниченном тепловом потенциале газов.

Целью научного исследования является повышение эффективности совместного охлаждения воздуха технологического и энергетического назначения трансформацией теплоты выпускных газов в условиях их ограниченного теплового потенциала, что обеспечивает сокращение потребления топлива установок автономного электро-, тепло- и холодообеспечения.

### **18.1. Обоснование рационального способа трансформации сбросной теплоты в холод технологического и энергетического назначения в установках автономного энергообеспечения**

Количество холода (холодопроизводительность)  $Q_0$ , которое можно получить трансформацией теплоты отработанных газов  $Q_{\Gamma}$ , зависит от эффективности термотрансформатора, т.е. ТХМ, характеризуемой тепловым коэффициентом  $\zeta = Q_0 / Q_{\Gamma}$ , который представляет собой отношение холодопроизводительности  $Q_0$  (количества теплоты, отведенной от наружного воздуха на входе ГТД) к количеству теплоты  $Q_{\Gamma}$ , подведенной к ТХМ от уходящих газов. Значения  $\zeta$  в зависимости от типа и режимных параметров могут составлять 0,20..0,35 для конструктивно наиболее простых эжекторных термотрансформатора (ЭТТ) и 0,6...0,8 для АБТТ.

Поскольку располагаемый тепловой потенциал отработавших газов регенеративных ГТД ограничен температурой:  $t_{\text{yr}} = 240...260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то его может оказаться недостаточно для покрытия затрат

холода для охлаждения воздуха на входе ГТД и комфортного кондиционирования воздуха комплексов автономного энергопотребления.

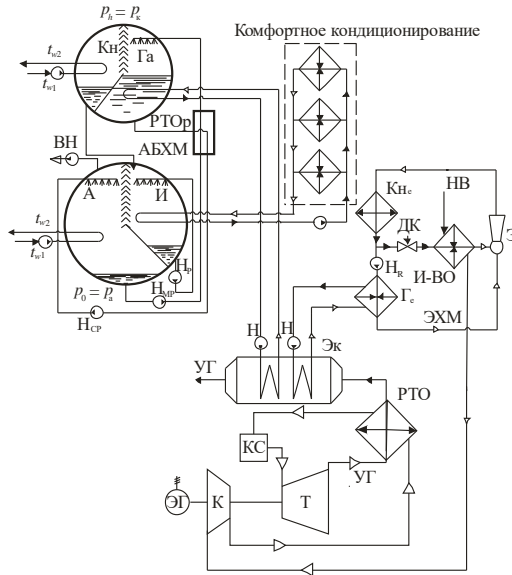
В качестве примера выбран один из типовых для Ливии проектов комплекса автономного электро-, тепло и холодопотребления. Тепловая нагрузка на систему кондиционирования воздуха (СКВ) гостиничного комплекса в самый жаркий месяц (июль) составляет  $Q_{кв} = 500 \dots 600$  кВт.

В отличие от существующих подходов к трансформации сбросной теплоты двигателей и энергоустановок с выработкой холода либо энергетического назначения (охлаждение циклового воздуха тепловых двигателей), либо для технологических потребностей, например кондиционирования воздуха обитаемых комплексов, в работе решается задача применения холода в обоих направлениях одновременно, что является условием эффективного функционирования установок автономного энергообеспечения. Очевидно, что применение существующих способов трансформации тепла в холод делает решение задачи такого одновременного хладоснабжения весьма проблематичным из-за ограниченного сбросного теплового потенциала регенеративных ГТД с относительно невысокой температурой отработанных газов,  $t_{вр} = 250 \dots 260$  °С. Это требует разработки принципиально новых способов (подходов и принципов) трансформации сбросной теплоты выпускных газов регенеративных ГТД для охлаждения воздуха на входе и тепловых схем, которые бы их реализовывали.

Во всех случаях охлаждения воздуха на входе ГТД и хладоснабжения СКВ обитаемых помещений рассматривается получение охлажденного воздуха двух уровней температур:  $t_b = 15$  °С для СКВ и  $t_b = 10$  °С для циклового воздуха на входе ГТД, при этом решаются вопросы выбора рационального варианта охлаждения циклового воздуха ГТД (способов охлаждения) и определения их характеристик.

Рассмотрена установка автономного энергообеспечения из пяти регенеративных ГТД фирмы Carstone C200 суммарной электрической мощностью 1000 кВт для электроснабжения и хладоснабжения системы кондиционирования воздуха (СКВ) гостиничного комплекса, которая в отличие от существующих обеспечивает еще и охлаждение циклового воздуха на входе ГТД.

На рис. 18.1 приведена схема системы непосредственного охлаждения циклового воздуха на входе ГТД кипящим НРТ в испарителе-воздухоохладителе (И-ВО) ЭТТ-ЭХМ с температурой кипения  $t_0 = 2 \dots 5$  °С и охлаждением воздуха СКВ до температуры  $t_b = 15$  °С в АБТТ-АБХМ холодной водой с  $t_x = 7$  °С путем трансформации теплоты выпускных газов регенеративного ГТД.



**Рис. 18.1.** Схема системы непосредственного охлаждения циклового воздуха на входе ГТД кипящим НРТ в испарителе-воздухоохладителе (И-ВО) ЭХМ с температурой кипения  $t_0 = 3...5$  °С и воздуха СКВ до температуры  $t_b = 15$  °С в АБХМ трансформацией теплоты выпускных газов регенеративного ГТД: К – компрессор; Т – турбина; ЭГ – электрогенератор; КС – камера сгорания; РТО – регенеративный теплообменник нагрева сжатого воздуха; Эк – экономайзер нагрева воды (теплоносителя для АБХМ); НВ – наружный воздух; УГ – уходящие газы; АБХМ: Г<sub>А</sub> – генератор (десорбер); Кн – конденсатор; А – абсорбер; И – испаритель; РТО<sub>р</sub> – регенеративный теплообменник растворов, Н<sub>ср</sub> – насос слабого раствора; Н<sub>кр</sub> – насос крепкого раствора; Н<sub>р</sub> – циркуляционный водяной насос; ВН – вакуум-насос; ЭХМ: Э – эжектор; Кн – конденсатор; Г – генератор пара НРТ; И-ВО – испаритель-воздухоохладитель; ДК – дроссельный клапан; Н – насос НРТ

Такая система трансформации тепла в холод, по сути, представляет собой две самостоятельные АБХМ и ЭХМ, не связанные ни рабочими циклами, ни выработкой и использованием холода (для охлаждения циклового воздуха ГТД и СКВ): в ЭХМ охлаждают цикловой воздух ГТД (энергетическое назначение), а в АБХМ – воздух СКВ обитаемого комплекса (технологическое назначение).

Благодаря непосредственному охлаждению циклового воздуха на входе ГТД кипящим НРТ в испарителе-воздухоохладителе (И-ВО) ЭХМ температуру кипения НРТ в И-ВО можно поддерживать  $t_0 = 3...5$  °С, т.е. на  $3...4$  °С выше, чем в случае наличия промежуточного водяного контура, что обеспечивает некоторое повышение теплового коэффициента ЭХМ  $\zeta$ .

Зависимости теплового коэффициента ЭХМ  $\zeta_{\Sigma}$  от температуры конденсации  $t_k$  при разных температурах кипения НРТ R142b в испарителе  $t_0 = -5; 0; +2; +5$  °С приведены на рис. 18.2. Тепловой коэффициент АБХМ  $\zeta_A = 0,7$ .

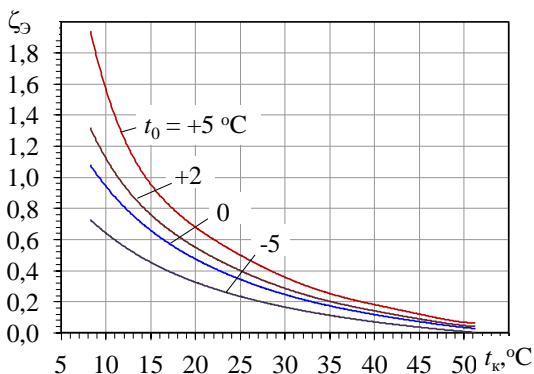


Рис. 18.2. Зависимости теплового коэффициента ЭХМ  $\zeta_{\Sigma}$  от температуры конденсации  $t_k$  при разных температурах кипения НРТ R142b в испарителе  $t_0 = -5; 0; +2; +5$  °С

Как видно, значения теплового коэффициента ЭХМ  $\zeta$  при температуре конденсации  $t_k = 35$  °С ( $t_{\text{нв}} \approx 25$  °С) и температурах кипения НРТ R142b в испарителе  $t_0 = 2...5$  °С невысокие:  $\zeta = 0,20...0,28$ . Особенно низкие значения  $\zeta = 0,10...0,12$  при высоких температурах наружного воздуха  $t_{\text{нв}} \approx 35$  °С на входе градирни системы оборотного охлаждения конденсаторов ЭХМ и соответственно  $t_k \approx 45$  °С, что имеет место в случае применения градирен сухого типа.

Очевидно, что трансформация тепла выпускных газов в ЭХМ для охлаждения наружного воздуха (с температурой  $t_{\text{нв}} = 30...40$  °С) на входе регенеративных ГТД установок автономного энергоснабжения, включая комфортное кондиционирование воздуха автономных комплексов, из-за невысоких значений теплового коэффициента ЭХМ  $\zeta_{\Sigma\text{ГТ}}$  не целесообразна и может оказаться даже невозможной из-за ограниченного теплового потенциала выпускных газов.



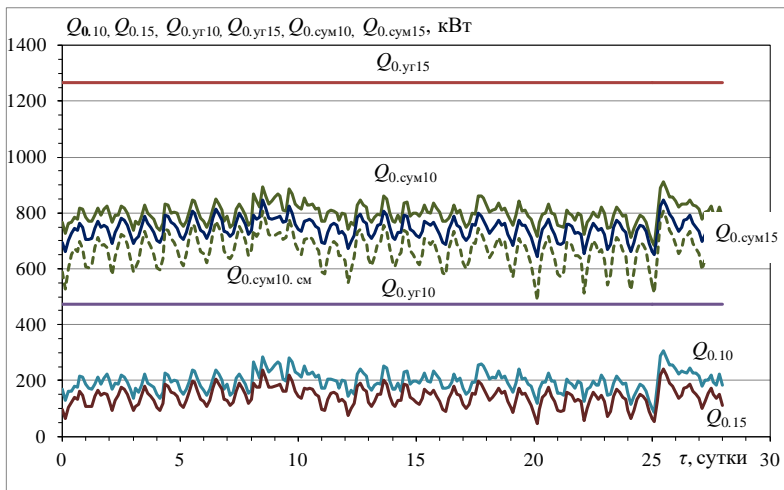
Нижче приведені результати сопоставлення требуемых затрат холода (холодопроизводительности) на кондиционирование воздуха автономных комплексов и охлаждение наружного воздуха на входе ГТД в АБХМ (от текущей температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ )  $Q_{0.15}$  и в ЭХМ (от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ )  $Q_{0.10}$  с располагаемым холодом (холодопроизводительностью)  $Q_{0.вр}$ , который можно получить путем трансформации теплоты уходящих газов  $Q_{вр}$  регенеративных ГТД соответственно в АБХМ  $Q_{0.вр15}$  и ЭХМ  $Q_{0.вр10}$ . В результате сравнения располагаемого холода (полученного за счет теплоты уходящих газов) и требуемых его затрат можно выявить резервы повышения эффективности трансформации теплоты уходящих газов регенеративных ГТД в холод для одновременного охлаждения воздуха на входе ГТД и кондиционирования воздуха автономных комплексов.

Было вычислено также расходы холода  $Q_{0.10}$  и  $Q_{0.15}$  на охлаждение воздуха на входе ГТД до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  и  $15^\circ\text{C}$ , которые вместе с  $Q_{0.кв}$  составляют суммарные затраты холода, необходимые для охлаждения воздуха на входе ГТД и комфортное кондиционирование:  $Q_{0.сум.10} = Q_{0.10} + Q_{0.кв}$  и  $Q_{0.сум.15} = Q_{0.15} + Q_{0.кв}$ .

Последние, в свою очередь, сопоставляли с количеством холода  $Q_{0.вр}$ , которое можно получить из располагаемой теплоты уходящих газов  $Q_{вр}$ , исходя из чего определяли способы повышения эффективности трансформации сбросной теплоты выпускных газов ГТД в холод, чтобы обеспечить глубокое охлаждение воздуха на входе ГТД до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  при одновременном хладоснабжении СКВ в составе установки автономного энергообеспечения [5–8].

При этом требуемые затраты теплоты  $Q_{г.15}$  и  $Q_{г.10}$  на получение холода для охлаждения циклового воздуха на входе ГТД в АБХМ (от текущей  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ )  $Q_{0.15}$  и в ЭХМ (от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ )  $Q_{0.10}$  рассчитывали как  $Q_{г.15} = Q_{0.15} / \zeta_A$  и  $Q_{г.10} = Q_{0.10} / \zeta_Э$ , где  $\zeta_A = 0,7$  и  $\zeta_Э = 0,25$  – тепловые коэффициенты соответственно АБХМ и ЭХМ.

О наличии избытка холода высокотемпературного уровня ( $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ ), полученного трансформацией располагаемой теплоты уходящих газов ГТД  $Q_{вр}$  в АБХМ (с высоким тепловым коэффициентом  $\zeta_A = 0,7$ )  $Q_{0.вр.15}$ , по сравнению с требуемыми суммарными расходами высокотемпературного холода ( $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ ) на СКВ и охлаждение циклового воздуха на входе ГТД (от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ )  $Q_{0.сум.15} = Q_{0.15} + Q_{0.кв}$  и, наоборот, дефицита холода низкотемпературного уровня ( $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ ), полученного трансформацией теплоты газов  $Q_{вр}$  в ЭХМ (с низким  $\zeta_Э = 0,25$ )  $Q_{0.вр.15}$  для СКВ и глубокого охлаждения воздуха на входе ГТД (от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ )  $Q_{0.сум.10} = Q_{0.10} + Q_{0.кв}$ , можно судить по рис. 18.3 [9].



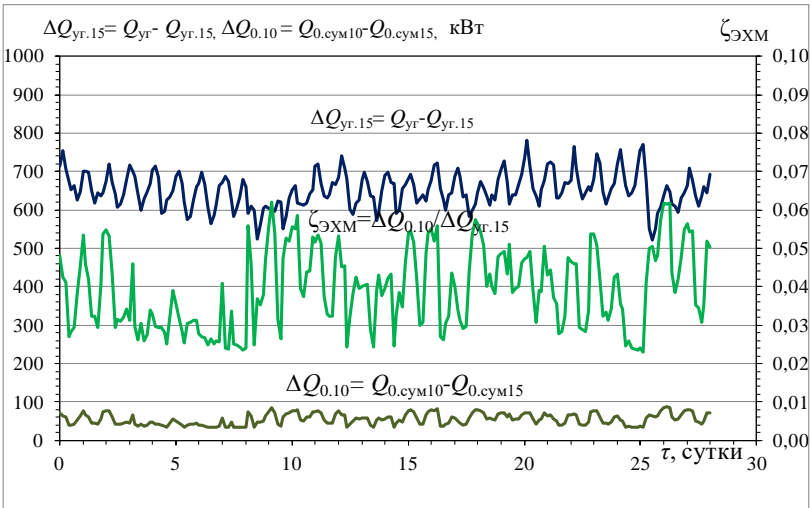
**Рис. 18.3.** Текущие суммарные расходы холода, включая кондиционирование воздуха СКВ и на охлаждение воздуха на входе ГТД, в АБХМ (от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ )  $Q_{0,сум15}$  и в ЭХМ (от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ )  $Q_{0,сум10}$ , а также холодопроизводительности, полученные из располагаемой теплоты газов  $Q_{уг}$  в АБХМ  $Q_{0,уг15}$  при охлаждении воздуха до  $15^\circ\text{C}$  и в ЭХМ  $Q_{0,уг10}$  при охлаждении воздуха до  $10^\circ\text{C}$ :

$$\begin{aligned} & \text{—} \text{—} Q_{0,сум10}, Q_{0,сум15}, Q_{0,10}, Q_{0,15}, Q_{0,уг10}, Q_{0,уг15}; \text{---} Q_{0,сум10,см} \\ & Q_{0,сум10} = Q_{0,КВ} + Q_{0,10}; Q_{0,сум10,см} = Q_{0,КВ,см} + Q_{0,10}; \end{aligned}$$

Как видно, располагаемой теплоты уходящих газов регенеративного ГТД  $Q_{уг} = 1600$  кВт и получаемого из нее холода  $Q_{0,уг15}$  высокотемпературного уровня ( $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ ) в АБХМ (с высоким тепловым коэффициентом  $\zeta_A = 0,7$ ), больше, чем требуется для покрытия суммарных затрат высокотемпературного холода  $Q_{0,сум15}$ . Однако располагаемой теплоты газов  $Q_{уг}$  и полученного холода  $Q_{0,уг10}$  низкого температурного уровня ( $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ ) в ЭХМ ( $\zeta_Э = 0,25$ ) меньше, чем необходимо для покрытия суммарных затрат низкотемпературного холода  $Q_{0,сум10}$ .

Текущие значения требуемых дополнительных затрат холода  $\Delta Q_{0,10} = Q_{0,сум10} - Q_{0,сум15}$  на доохлаждение воздуха на входе ГТД С1000 от температуры  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ , т.е. разности требуемых суммарных затрат холода на охлаждение воздуха на входе ГТД от текущей  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (включая затраты на кондиционирование  $Q_{0,КВ}$ )  $Q_{0,сум10}$  и до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (включая  $Q_{0,КВ}$ )  $Q_{0,сум15}$ , избыток располагаемой теплоты уходящих газов сверх ее потребности для АБХМ (на

покрытие затрат холода на охлаждение воздуха на входе ГТД от  $t_{\text{нв}}$  до  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  и СКВ)  $\Delta Q_{\text{гр.15}} = Q_{\text{гр}} - \sum Q_{\text{г.15}}$ , а также требуемого теплового коэффициента  $\zeta_{\text{ЭХМ}} = Q_{0.10-15} / \Delta Q_{\text{гр.15}}$  трансформации избытка располагаемой теплоты уходящих газов в дополнительное количество холода, необходимого для доохлаждения воздуха на входе ГТД С1000 от температуры  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  в бустерной низкотемпературной ступени, например, в ЭХМ, приведены на рис. 18.4.



**Рис. 18.4.** Текущие значения требуемых затрат холода  $\Delta Q_{0.10} = Q_{0.свм10} - Q_{0.свм15}$  на доохлаждение циклового воздуха на входе ГТД от  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$ , избытка располагаемой теплоты уходящих газов  $\Delta Q_{\text{гр.15}} = Q_{\text{гр}} - \sum Q_{\text{г.15}}$  и требуемого теплового коэффициента  $\zeta_{\text{ЭХМ}} = Q_{0.10-15} / \Delta Q_{\text{гр.15}}$  трансформации избытка теплоты уходящих газов в дополнительное количество холода для доохлаждения воздуха на входе ГТД С1000 от  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  в бустерной низкотемпературной в ЭХМ

Сравнивая избыток располагаемой теплоты уходящих газов сверх ее потребности для АБХМ (на покрытие затрат холода на охлаждение циклового воздуха на входе ГТД от  $t_{\text{нв}}$  до  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  и СКВ):  $\Delta Q_{\text{гр.15}} = Q_{\text{гр}} - \sum Q_{\text{г.15}}$ , с одной стороны, и требуемые затраты холода  $\Delta Q_{0.10} = Q_{0.свм.10} - Q_{0.свм.15}$  на доохлаждение циклового воздуха на входе ГТД от  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$ , с другой стороны, можно определить необходимую эффективность трансформации избыточной теплоты уходящих газов  $\Delta Q_{\text{гр.15}}$  в дополнительный холод  $\Delta Q_{0.10} =$

$Q_{0, \text{сум.}10} - Q_{0, \text{сум.}15}$  на доохлаждение циклового воздуха на входе ГТД от  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$ , т.е. тепловой коэффициент дополнительной низкотемпературной (с охлаждением воздуха от  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$ ) трансформации избыточной теплоты газов в холод низкотемпературного уровня, например в ЭХМ:  $\zeta_{\text{ЭХМ}} = \Delta Q_{0,10} / \Delta Q_{\text{ут.}15}$ .

Дефицит холода может быть устранен повышением эффективности трансформации сбросной теплоты применением двухступенчатой трансформации теплоты выпускных газов регенеративной ГТД в холод, и прежде всего, получением одной части холода – высокотемпературного уровня  $Q_{0, \text{вТ}} = Q_{0,15}$ , необходимого для охлаждения циклового воздуха на входе ГТД, в АБХМ как высокотемпературной ступени абсорбционно-эжекторной системы трансформации теплоты (АЭТТ-АЭХМ), т.е. при высоких коэффициентах трансформации теплоты  $\zeta_{\text{А}} \approx 0,7$ , а другой части холода низкотемпературного уровня  $Q_{0, \text{нТ}} = Q_{0,10-15} = Q_{0, \text{сум.}10} - Q_{0, \text{сум.}15} = Q_{0,10} - Q_{0,15}$ , требуемой для глубокого охлаждения циклового воздуха ГТД до температуры  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$ , в ЭХМ как низкотемпературной ступени трансформации теплоты. При этом высокотемпературную АБХМ можно использовать для предварительного охлаждения как самого циклового воздуха ГТД, так и хладоносителя (холодной воды) с понижением его температуры сначала до  $t_{\text{х}} = 7^\circ\text{C}$  в АБХМ, а затем до  $t_{\text{х}} = 3...5^\circ\text{C}$  в ЭХМ.

Как видно из рис. 18.2, значения теплового коэффициента ЭХМ  $\zeta$  при температуре конденсации  $t_{\text{к}} = 35^\circ\text{C}$  и температурах кипения НРТ R142b в испарителе  $t_0 = 0...2^\circ\text{C}$  весьма низкие:  $\zeta_{\text{Э}} \approx 0,2$ .

Использование холода, получаемого в АБХМ в виде хладоносителя с температурой  $t_{\text{х}} = 7^\circ\text{C}$ , возможно также для предварительного охлаждения циклового воздуха ГТД до температуры  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$  с последующим его непосредственным охлаждением в ЭХМ (кипящим НРТ при  $t_0 = 3...5^\circ\text{C}$ ) до температуры  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$  (схема двуступенчатого охлаждения воздуха на входе ГТД в АЭХМ и ЭХМ, не связанных рабочими циклами).

Благодаря непосредственному охлаждению воздуха в ЭХМ кипящим НРТ имеется возможность поддерживать повышенные температуры кипения НРТ  $t_0 = 2...5^\circ\text{C}$  в И-ВО, что обеспечивает высокие тепловые коэффициенты трансформации тепла в холод в ЭХМ:  $\zeta_{\text{Э}} \approx 0,20...0,28$  при  $t_0 = 2...5^\circ\text{C}$  и температуре конденсации  $t_{\text{к}} = 35^\circ\text{C}$  на рис. 18.2.

В системах двухступенчатой абсорбционно-эжекторной трансформации теплоты (САЭТТ-САЭХМ) выпускных газов регенеративного ГТД с охлаждением циклового воздуха на входе ГТД холод высокотемпературного уровня  $Q_{0, \text{вТ}}$  для ГТД получают в АБХМ как высо-

котемпературной ступени ступенчатой САЭТТ при высоких коэффициентах трансформации теплоты  $\zeta_A \approx 0,7$ , а холод низкотемпературного уровня  $Q_{0,HT}$  – в ЭХМ как низкотемпературной ступени при низких  $\zeta_D = 0,20 \dots 0,25$ .

Поэтому при анализе эффективности систем трансформации теплоты выпускных газов регенеративного ГТД в холод учитывают высокотемпературную  $Q_{0,сумВТ}$  и низкотемпературную  $Q_{0,HT}$  составляющие затрат холода, получаемые с разной эффективностью трансформации тепла в АБХМ и ЭХМ соответственно:

$$Q_{0,сумВТ} = Q_{0,сум15} = Q_{0,KB} + Q_{0,15}$$

и

$$Q_{0,HT} = Q_{0,сум10} - Q_{0,сум15} = Q_{0,10} - Q_{0,15},$$

где  $Q_{0,10}$  и  $Q_{0,15}$  – затраты холода на охлаждение циклового воздуха ГТД от текущей температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ ;  $Q_{0,сум10}$  и  $Q_{0,сум15}$  – суммарные затраты холода на СКВ и охлаждение циклового воздуха на входе ГТД от текущей температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  соответственно до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ .

При этом затраты теплоты уходящих газов ГТД на получение высокотемпературной составляющей холода  $Q_{уг,15}$ :  $Q_{уг,15} = Q_{0,сум15} / \zeta_A$ , а остающаяся теплота газов, которую можно трансформировать в низкотемпературный холод для доохлаждения циклового воздуха ГТД от температуры  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ , т.е. избыток теплоты газов сверх ее потребности для АБХМ:  $\Delta Q_{уг,15} = Q_{уг} - Q_{уг,15}$ .

Тогда вопрос выбора рационального способа трансформации тепла уходящих газов ГТД в холод сводится к трансформации избытка теплоты газов  $\Delta Q_{уг,15} = Q_{уг} - Q_{уг,15}$  в требуемое количество низкотемпературного холода  $Q_{0,HT} = Q_{0,сум10} - Q_{0,сум15} = Q_{0,10} - Q_{0,15}$  с тепловым коэффициентом не меньше его величины  $\zeta_D$ , обеспечивающей получение дополнительного низкотемпературного холода  $Q_{0,HT}$ , т.е.  $\zeta_D = (Q_{0,сум10} - Q_{0,сум15}) / (Q_{уг} - Q_{уг,15})$ .

Поэтому задача состоит в том, чтобы разработать рациональные схемные решения ТХМ и определить их характеристики, которые обеспечивали бы рациональные температуры конденсации  $t_k$  (пониженные  $t_k$  в САЭХМ) и кипения  $t_0$  рабочих циклов ЭХМ как низкотемпературной ступени абсорбционно-эжекторной системы трансформации тепла.

При этом высокотемпературную АБХМ можно использовать для предварительного охлаждения как самого циклового воздуха ГТД,

так и хладоносителя (холодной воды) с понижением его температуры сначала до  $t_x = 7^\circ\text{C}$  в АБХМ, а затем до  $t_x = 3 \dots 5^\circ\text{C}$  в ЭХМ.

Исходя из суммарного количества холода (холодопроизводительности)  $Q_{0.\text{сум.10}}$ , требуемого для охлаждения циклового воздуха на входе ГТД до температуры, например,  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$ , и СКВ (обычно до  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$ ), с одной стороны, и располагаемой теплоты уходящих газов ГТД  $Q_{\text{уг}}$ , с другой стороны, определяют коэффициент трансформации сбросной теплоты газов в холод  $\zeta$ , который должен быть обеспечен ступенчатой абсорбционно-эжекторной системой трансформации сбросной теплоты в холод (СКАЭТТ):  $\zeta = Q_{0.\text{сум.10}} / Q_{\text{уг}}$ .

## **18.2. Рациональные параметры трансформаторов сбросной теплоты установок автономного энергоснабжения при эксплуатации в тропических условиях Ливии**

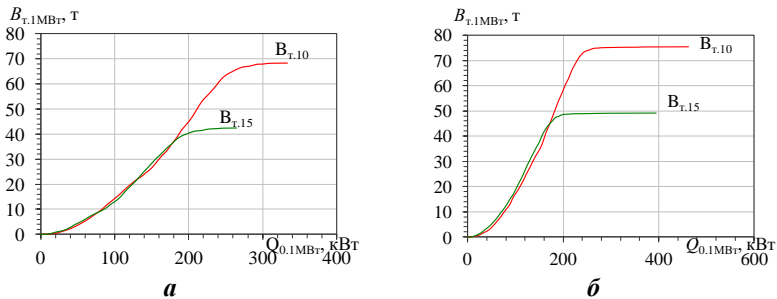
Эффективность охлаждения воздуха на входе ГТД термотрансформаторами, утилизирующими теплоту выпускных газов, оценивают по сокращению удельного расхода топлива по сравнению с эксплуатацией ГТД без охлаждения. При этом следует учитывать величину снижения температуры воздуха  $\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{нв}} - t_{\text{в}2}$  на входе ГТД термотрансформатором от текущей температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$  до температуры  $t_{\text{в}2}$ , зависящей от типа выбранного термотрансформатора:  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$  в АБХМ или  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$  в ЭТТ, а также установленной (проектной) холодильной мощности (холодопроизводительности) термотрансформатора  $Q_0$ , которая должна покрывать затраты холода на охлаждение воздуха [3, 4].

Глубина охлаждения воздуха термотрансформаторами ограничивается температурой  $t_x$  хладоносителя (НРТ), подаваемого в воздухоохладитель на входе ГТД. Так, при использовании в качестве хладонов R142b и R600 (ЭТТ) воздух может быть охлажден до температуры  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$  ( $t_x = 2 \dots 3^\circ\text{C}$ ), а в случае воды как хладагента (АБТТ) температура охлажденного воздуха  $t_{\text{в}2} = 12 \dots 15^\circ\text{C}$  ( $t_x \approx 7^\circ\text{C}$ ).

Очевидно, что установленная (проектная) холодильная мощность (холодопроизводительность) термотрансформатора  $Q_0$ , с одной стороны, должна покрывать затраты холода на охлаждения воздуха на входе ГТД до возможно более низкой температуры, потенциально возможной для выбранного типа термотрансформатора:  $t_{\text{в}2} = 15^\circ\text{C}$  (для АБТТ) или  $t_{\text{в}2} = 10^\circ\text{C}$  (для ЭТТ и АЭТТ) в течение как можно большего периода эксплуатации ГТД в году, обеспечивая тем самым

наибольший суммарный (годовой) эффект в виде экономии топлива или увеличения выработки электроэнергии. С другой стороны, установленная холодопроизводительность термотрансформатора  $Q_0$  не должна быть завышенной, чтобы большую часть года термотрансформатор эксплуатировался при нагрузках близких номинальной (проектной). Иначе при завышенной холодопроизводительности  $Q_0$  будет иметь место невысокий коэффициент использования термотрансформатора (эксплуатация не на полную нагрузку и, следовательно, завышенные капитальные затраты), а при заниженной  $Q_0$ , наоборот, – недоохлаждение воздуха на входе ГТД в часы пиковых тепловых нагрузок при высоких наружных температурах  $t_{\text{вв}}$ .

Значения годовой экономии топлива  $B_{\text{т.1МВт}}$ , т, за счет охлаждения воздуха на входе регенеративной ГТД С1000 электрической мощностью 1 МВт в зависимости от соответствующих затрат холодопроизводительности (установленной холодильной мощности термотрансформаторов САЭТТ и АБТТ)  $Q_{0.1\text{МВт}}$  при температурах охлажденного воздуха на входе  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  (в САЭТТ) и  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  (в АБТТ) для климатических условий г. Триполи и г. Хон, 2009 г., приведены на рис. 18.5. При этом для ГТУ С1000 расход воздуха  $G_{\text{в.1МВт}} = 6.7 \text{ кг/с}$  (взято по данным для ГТУ С1000) [34–36], с учетом чего затраты холодильной мощности на охлаждение воздуха расходом  $G_{\text{в.1МВт}} = 6,7 \text{ кг/с}$  рассчитывали как  $Q_{0.1\text{МВт}} = (c_{\text{вЛ}} \xi \cdot \Delta t) G_{\text{в.1МВт}}$ , кВт. Охлаждение воздуха на входе на величину  $\Delta t = 1^\circ\text{C}$  обеспечивает для ГТД С1000 снижение удельного расхода топлива  $\Delta b_c / \Delta t = 7 \text{ г/(г/(кВт}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C))}$ .



**Рис. 18.5.** Значения годовой экономии топлива  $B_{\text{т.1МВт}}$ , т, за счет охлаждения воздуха на входе ГТД С1000 электрической мощностью 1 МВт в зависимости от соответствующих затрат холодопроизводительности  $Q_{0.1\text{МВт}}$  при температурах охлажденного воздуха  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  (в САЭТТ) и

$t_{b2} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  (в АБТТ):  $V_{r,10}$  при  $t_{b2} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{r,15}$  при  $t_{b2} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $a$  – г. Триполи;  $b$  – г. Хон

Как видно, при охлаждении воздуха на входе ГТД С1000 (электрическая мощность 1 МВт) в САЭТТ ( $t_{b2} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) для климатических условий г. Триполи экономия топлива  $V_{r,10}$  составляет 66 т, для чего необходимо применить САЭТТ установленной холодильной мощностью  $Q_{0,1\text{МВт}} = 260 \text{ кВт}$ . Применение же более мощной САЭТТ, например,  $Q_{0,1\text{МВт}} = 340 \text{ кВт}$ , т.е. на 30 % больше, не приводит к заметному сокращению потребления топлива: экономия топлива  $V_{r,10}$  возрастает с 66 т до 68 т, т.е. всего на 3 %. Поэтому холодильную мощность  $Q_{0,1\text{МВт}} = 260 \text{ кВт}$  можно считать рациональной. В случае охлаждения воздуха на входе ГТД в АБТТ ( $t_{b2} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) экономия топлива  $V_{r,15} = 38 \text{ т}$ , для чего необходимо применять АБТТ установленной холодильной мощностью  $Q_{0,1\text{МВт}} = 280 \text{ кВт}$ . Для климатических условий г. Хон экономия топлива  $V_{r,10} = 74 \text{ т}$ , т.е. больше на 12 % по сравнению с г. Триполи ( $V_{r,10} = 66 \text{ т}$ ), хотя при этом требуется САЭТТ меньшей установленной холодильной мощности  $Q_{0,1\text{МВт}} = 240 \text{ кВт}$  (против  $Q_{0,1\text{МВт}} = 260 \text{ кВт}$  для г. Триполи). Повышенные холодильные мощности термотрансформаторов, требуемые для охлаждения воздуха на входе ГТД для климатических условий г. Триполи по сравнению с сухим тропическим климатом г. Хон обусловлены более высокой относительной влажностью приморских регионов и, как следствие, намного большей составляющей тепловой нагрузки термотрансформаторов, определяемой скрытой теплотой конденсации водяных паров из влажного воздуха в процессе охлаждения.

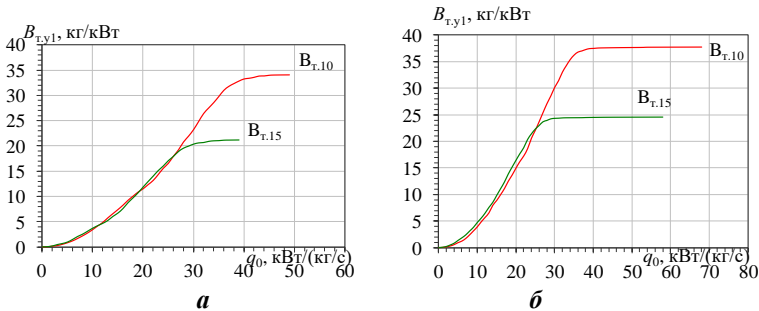
Затраты холодильной мощности  $Q_0$  на охлаждение воздуха на входе ГТД зависят не только от величины снижения его температуры  $\Delta t_b = t_{hb} - t_{b2}$ , т.е. количества отведенной от воздуха явной теплоты, но и от теплоты конденсации водяных паров из влажного воздуха при снижении его температуры ниже точки росы в процессе охлаждения. Отношение полного количества теплоты (разности энтальпий воздуха на входе и выходе из воздухоохладителя), отведенной от влажного воздуха в воздухоохладителе (ВО), к количеству явной теплоты, определяемому разностью температур по сухому термометру, характеризуется коэффициентом влаговываждения  $\xi$ . Значения коэффициента влаговываждения  $\xi$  определяет направление процесса охлаждения воздуха в ВО и зависит от снижения температуры воздуха  $\Delta t = t_{hb} - t_{b2}$ , а также уменьшения влажосодержания  $\Delta d = d_{hb} - d_{b2}$ , которые, в свою очередь, – от соответствующих относительных влажностей  $\varphi_{hb}$  и  $\varphi_{b2}$ , а также  $t_{hb}$  и  $t_{b2}$ , т.е. изменяются в течение суток. Тогда полные затраты холодильной мощности  $Q_0$  на охлаждение влажного воздуха на входе ГТУ



$Q_0 = G_B \cdot \xi \cdot c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , а удельные затраты, приходящиеся на единичный расход воздуха  $G_B = 1$  кг/с, соответственно  $q_0 = \xi \cdot c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , где  $c_{\text{вл}}$  – теплоемкость влажного воздуха. Величина  $\xi = 1$  соответствует условиям охлаждения без выпадения влаги.

Требуемые установленные холодильные мощности термотрансформаторов удобнее представлять в виде удельных, приходящихся на единичный расход воздуха  $G_B = 1$  кг/с, затрат холодильной мощности  $q_0 = \xi \cdot c_{\text{вл}} (t_{\text{нв}} - t_{\text{в2}})$ , кВт/(кг/с), или кДж/кг, исходя из которых можно легко вычислить полную установленную холодильную мощность  $Q_{0.1\text{МВт}}$  при известном расходе воздуха  $G_B$  для ГТД:  $Q_0 = q_0 \cdot G_B$  [3, 4].

Значения годовой удельной, приходящейся на 1 кВт мощности ГТД С1000, экономии топлива  $B_{\text{т.у1}}$  для климатических условий г. Триполи (тропический климат) и г. Хон (сухой тропический климат) в 2009 г. в зависимости от удельных, приходящихся на единичный расход воздуха  $G_B = 1$  кг/с, затрат холодильной мощности  $q_0$  приведены на рис. 18.6.



**Рис. 18.6.** Значения годовой удельной, приходящейся на 1 кВт мощности ГТД С1000, экономии топлива  $B_{\text{т.у1}}$  для г. Триполи и г. Хон в 2009 г. в зависимости от удельных, приходящихся на единичный расход воздуха  $G_B = 1$  кг/с, затрат холодильной мощности  $q_0$  при температурах охлажденного воздуха  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  (в САЭТТ) и  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$  (в АБТТ):  $B_{\text{т.10}}$  при  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$ ;  $B_{\text{т.15}}$  при  $t_{\text{в2}} = 15^\circ\text{C}$ ; *а* – г. Триполи, 2009 г.; *б* – г. Хон, 2009 г.

Как видно, для климатических условий г. Триполи при охлаждении воздуха на входе ГТД С1000 в САЭТТ до конечной температуры  $t_{\text{в2}} = 10^\circ\text{C}$  при удельной (приходящейся на единичный расход воздуха  $G_B = 1$  кг/с) холодильной мощности термотрансформатора  $q_0 = 36$  кВт/(кг/с) = 36 кДж/кг значение годовой удельной, приходящейся на 1 кВт мощности ГТД С1000, экономии топлива  $B_{\text{т.у1}}$  за

2009 г. составляет  $V_{т.у1} = 33$  кг/кВт при сохранении высоких темпов ее наращивания. Из-за падения темпов наращивания годовой удельной экономии топлива  $V_{т.у1}$  после  $q_0 = 36$  кВт/(кг/с) дальнейшее увеличение установленной удельной холодильной мощности термотрансформатора не приводит к заметному возрастанию удельной экономии топлива  $V_{т.у1}$ . Таким образом, для термотрансформатора САЭТТ удельную холодильную мощность  $q_0 = 36$  кВт/(кг/с) можно считать рациональной и исходя из нее рассчитывать полную установленную холодильную мощность термотрансформатора в соответствии с расходом воздуха через ГТД:  $Q_0 = G_b \cdot q_0$ , кВт. Несколько меньшая величина рациональной удельной холодильной мощности САЭТТ  $q_0 = 35$  кВт/(кг/с) и для г. Хон обеспечивает большее на 12 % значение годовой удельной экономии топлива  $V_{т.у1} = 37$  кг/кВт для климатических условий г. Хон по сравнению с г. Триполи за счет большей величины снижения температуры воздуха  $\Delta t_b$  на входе ГТД от более высокой температуры наружного воздуха  $t_{нв}$ .

Поскольку выбор установленной (рациональной) холодильной мощности удельной  $q_0$  и соответствующей полной  $Q_0$  производят не по максимальной тепловой нагрузке, а по несколько меньшей, обеспечивающей высокие темпы приращения эффекта, получаемого за счет охлаждения воздуха на входе ГТД в виде сокращения расхода топлива  $V_t$ , то вполне очевидно, что в наиболее жаркие дни в течение некоторых промежутков времени будет иметь место недоохлаждение воздуха до потенциально возможной минимальной температуры:  $t_{b2} = 10$  °С (для САЭТТ) и  $t_{b2} = 15$  °С (АБТТ).

О том, насколько существенными могут быть величины дефицита (недостающей) удельной (расход воздуха  $G_b = 1$  кг/с) холодопроизводительности  $\Delta q_{0,d}$  и соответствующего недоохлаждения воздуха  $\Delta t_d$  на входе ГТД по сравнению с текущими удельными тепловыми нагрузками  $\Delta q_{0,10}$  и  $\Delta q_{0,15}$  и потенциально возможными значениями снижения температуры воздуха  $\Delta t_{10}$  и  $\Delta t_{15}$  до  $t_{b2} = 10$  °С (в САЭТТ) и  $t_{b2} = 15$  °С (АБТТ) для климатических условий г. Триполи (июль 2009 г.) можно судить по рис. 18.7 и 18.8.

При этом дефицит удельной холодопроизводительности  $\Delta q_{0,d10}$  (САЭТТ) и  $\Delta q_{0,d15}$  (АБТТ), т.е. превышение текущей удельной тепловой нагрузкой на САЭТТ  $q_{0,10}$  и АБТТ  $q_{0,15}$  рациональной удельной установленной (проектной) холодопроизводительности для охлаждения воздуха на входе ГТД до  $t_{b2} = 10$  °С и  $t_{b2} = 15$  °С вычисляли как  $\Delta q_{0,d10} = q_{0,10} - q_{0,p10}$  и  $\Delta q_{0,d15} = q_{0,15} - q_{0,p15}$ , где  $q_{0,p10}$  и  $q_{0,p15}$  – рациональные значения удельной установленной (проектной) холодопроизводительности согласно рис. 18.8:  $q_{0,p10} \approx 36$  кВт/(кг/с) и  $q_{0,p15} \approx$

26 кВт/(кг/с).

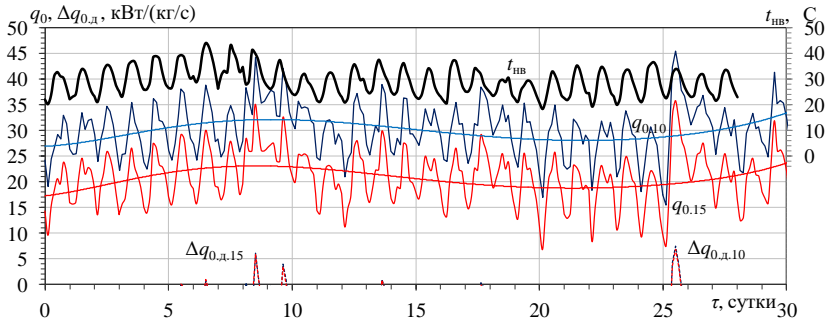


Рис. 18.7. Текущие значения температуры наружного воздуха  $t_{нв}$ , удельных тепловых нагрузок на термотрансформаторы  $q_{0.10}$  (САЭТТ) и  $q_{0.15}$  (АБТТ) и дефицита (недостающей) удельной холодопроизводительности  $\Delta q_{0.л.10}$  (САЭТТ) и  $\Delta q_{0.л.15}$  (АБТТ) для охлаждения воздуха на входе ГТД до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (г. Триполи, июль 2009 г.)

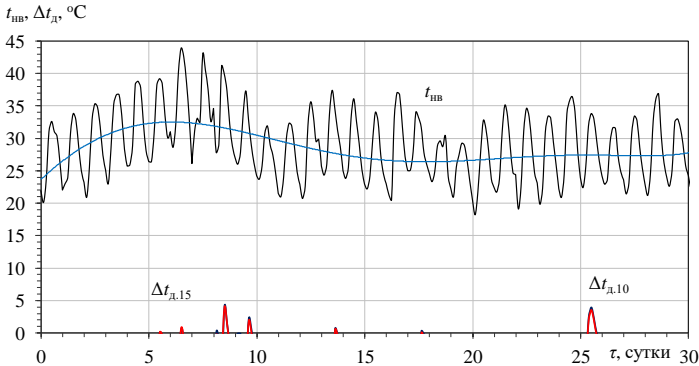


Рис. 18.8. Недоохлаждение  $\Delta t_{д.10}$  и  $\Delta t_{д.15}$  воздуха на входе ГТД по сравнению с потенциально возможным снижением температуры воздуха  $\Delta t$  на входе ГТД от текущих значений температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до температур  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в САЭТТ и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ из-за дефицита удельной холодопроизводительности  $\Delta q_{0.л.10}$  (САЭТТ) и  $\Delta q_{0.л.15}$  (АБТТ) при рациональных величинах удельной установленной (проектной) холодопроизводительности  $q_{0.р.10}$  и  $q_{0.р.15}$  (г. Триполи, июль 2009 г.)

При этом недоохлаждение  $\Delta t_{д.10}$  и  $\Delta t_{д.15}$  воздуха на входе ГТД по сравнению с потенциально возможным снижением температуры воздуха  $\Delta t$  на входе ГТД от текущих значений температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до температур  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в САЭТТ и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ рассчитывали как  $\Delta t_{д.10} = \Delta t_{10} - \Delta t_{10,р}$  и  $\Delta t_{д.15} = \Delta t_{15} - \Delta t_{15,р}$ , где  $\Delta t_{10} = t_{нв} - 10^\circ\text{C}$  и  $\Delta t_{15} = t_{нв} - 15^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{10,р} = q_{0,р10} / \xi$  и  $\Delta t_{15,р} = q_{0,р15} / \xi$ , а значения рациональной удельной установленной (проектной) холодопроизводительности  $q_{0,р10}$  и  $q_{0,р15}$  определяют согласно рис. 18.5.

Как видно недоохлаждение  $\Delta t_{д.10}$  и  $\Delta t_{д.15}$  воздуха на входе ГТУ по сравнению с потенциально возможным снижением температуры воздуха  $\Delta t$  на входе ГТД от текущих значений температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до температуры  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в САЭТТ и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ составляет 2...4 °С, причем весьма кратковременное: в течение 2...3 часов и всего лишь 2-3 дня в самом жарком месяце (июле). Из этого следует, что выбор рациональных значений удельной установленной (проектной) холодопроизводительности  $q_{0,р10}$  и  $q_{0,р15}$  согласно рис. 3.1 произведен правильно и с учетом климатических условий эксплуатации.

О значениях сокращения удельного расхода топлива  $\Delta b_e$  за счет охлаждения воздуха на входе регенеративной ГТД С1000 от текущих значений температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до температуры  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в САЭТТ и  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ соответственно на величину  $\Delta t_{10}$  и  $\Delta t_{15}$  в течение июля 2009 г. для климатических условий г. Триполи можно судить по рис. 18.9.

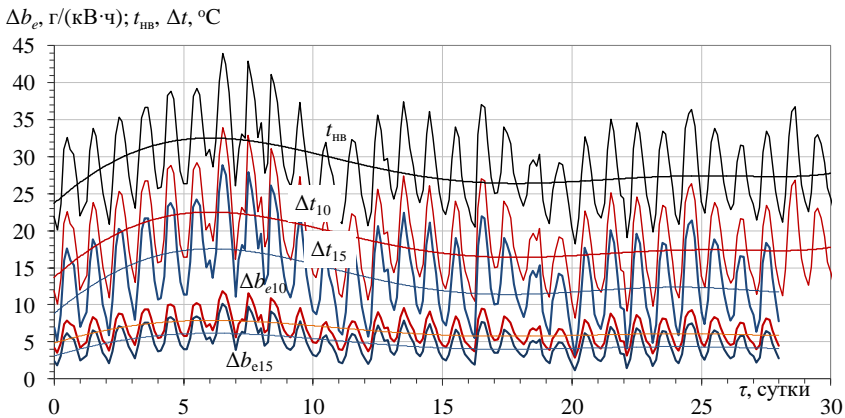


Рис. 18.9. Значения сокращения удельного расхода топлива  $\Delta b_e$  за счет охлаждения воздуха на входе регенеративной ГТД С1000 от текущих

значений температури наружного воздуха  $t_{нв}$  до температуры  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в САЭТТ и  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в АБТТ соответственно на величину  $\Delta t_{10}$  и  $\Delta t_{15}$  в течение июля 2009 г. (г. Триполи)

При этом согласно климатической характеристики ГТД С1000 принимали, что при снижении температуры воздуха на входе на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  удельный расход топлива ГТД С1000 уменьшается на величину  $\Delta b_e = 0,7\text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

Ранее при определении рациональных значений удельной установленной (проектной) холодопроизводительности САЭТТ  $q_{0,10}$  и АБТТ  $q_{0,15}$  исходя из годовой удельной экономии топлива  $V_{т,г1}$  (рис. 18.5) было показано, что несмотря на существенное различие климатических условий приморского г. Триполи (влажный тропический климат) и г. Хон (сухой тропический климат) рациональные значения удельной установленной холодопроизводительности термотрансформаторов  $q_0$  практически одинаковые, хотя для более жарких климатических условий г. Хон снижение температуры воздуха  $\Delta t_{в}$  на входе ГТД в САЭТТ больше, что обеспечивает большее на 12 % значение годовой удельной экономии топлива  $V_{т,г1}$ .

Это подтверждается также текущими (в течение июля 2009 г.) значениями удельной ( $G_{в} = 1\text{ кг/с}$ ) холодопроизводительности  $q_{0,Т}$  для г. Триполи и  $q_{0,Х}$  для г. Хон при охлаждении воздуха на входе ГТД от температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в САЭТТ и  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в АБТТ, приведенными на рис. 18.10.

Текущие значения удельной холодопроизводительности  $q_{0,10}$  при охлаждении воздуха на входе ГТД от температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в САЭТТ и  $q_{0,10}$  при охлаждении до  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в АБТТ, а также удельной холодопроизводительности низкотемпературной эжекторной ступени ЭТТ  $\Delta q_{0,10-15} = q_{0,10} - q_{0,15}$  охлаждения воздуха от  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (после АБТТ) до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в июле 2009 г. для г. Триполи и г. Хон приведены на рис. 18.11.

Как видно, текущие значения удельной холодопроизводительности низкотемпературной эжекторной ступени ЭТТ  $\Delta q_{0,10-15} = q_{0,10} - q_{0,15}$  охлаждения воздуха от  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (после АБТТ) до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  для г. Триполи и г. Хон составляют примерно  $\Delta q_{0,10-15} = 8...10\text{ кВт}/(\text{кг/с})$ , что подтверждается также данными по рациональным значениям удельной установленной (проектной) холодопроизводительности САЭТТ  $q_{0,10}$  и АБТТ  $q_{0,15}$  исходя из годовой удельной экономии топлива  $V_{т,г1}$  за счет охлаждения воздуха на входе, приходящейся на 1 кВт мощности ГТД (рис. 18.12)

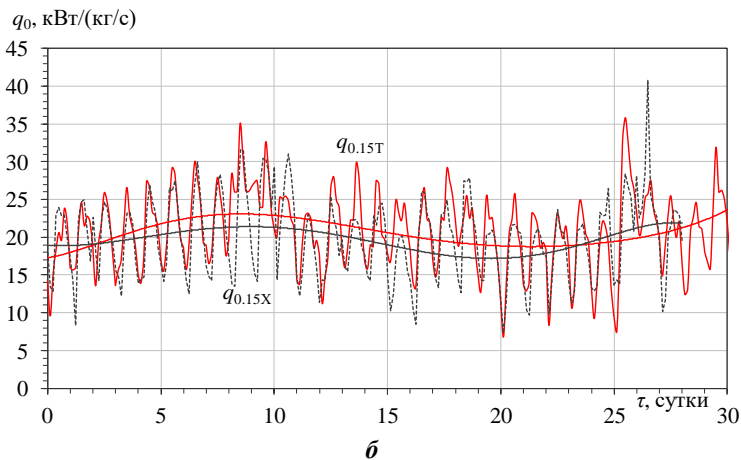
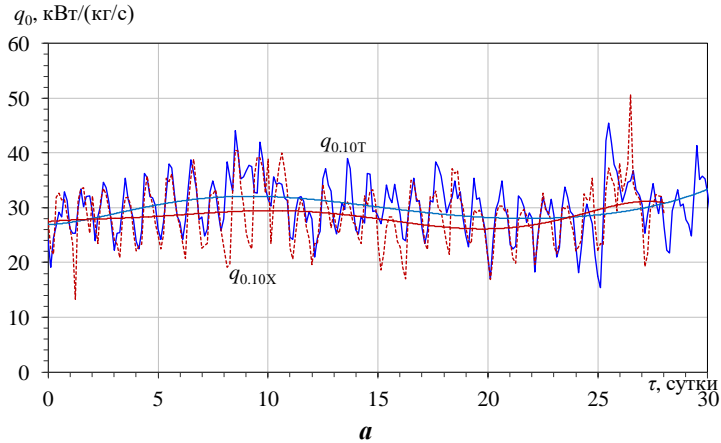
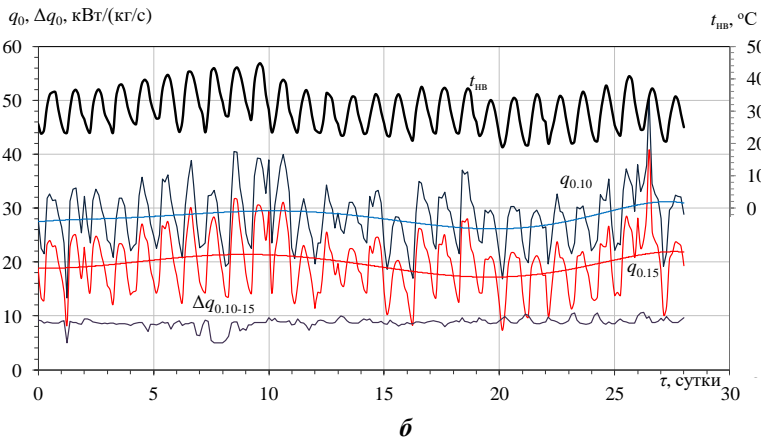
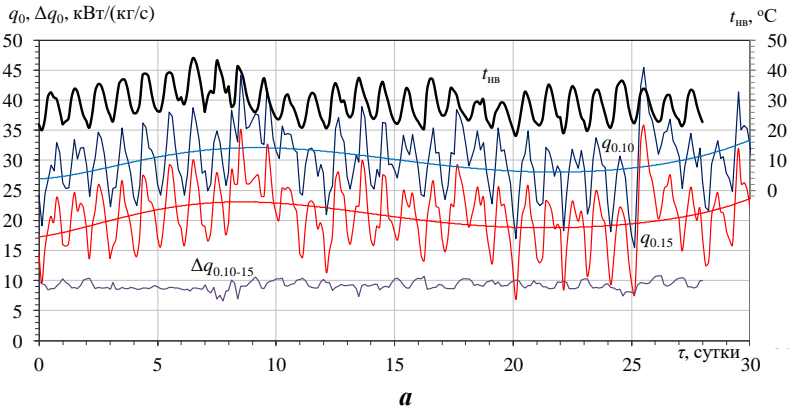
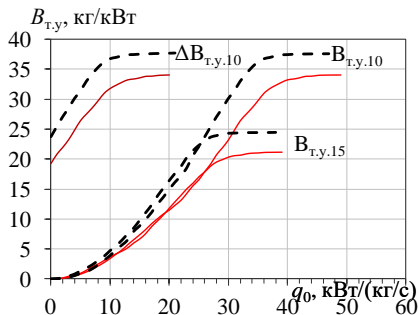


Рис. 18.10. Текущие значения удельной холодопроизводительности  $q_{0,T}$  для г. Триполи и  $q_{0,X}$  для г. Хон при охлаждении воздуха на входе ГТД от температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в САЭТТ (а) и  $t_{в2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  в АБТТ (б) в июле 2009 г.: — — Триполи; - - - - Хон



**Рис. 18.11.** Текущие значения удельной холодопроизводительности  $q_{0.10}$  при охлаждении воздуха на входе ГТД от температуры наружного воздуха  $t_{ив}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в САЭТТ и  $q_{0.10}$  при охлаждении до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ, а также удельной холодопроизводительности низкотемпературной эжекторной ступени ЭТТ  $\Delta q_{0.10-15} = q_{0.10} - q_{0.15}$  охлаждения воздуха от  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (после АБТТ) до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ : а – г. Триполи; б – г. Хон



**Рис. 18.12.** Значения годовой удельной, приходящейся на 1 кВт мощности ГТД С1000, экономии топлива  $V_{т.у}$  для климатических условий г. Триполи (тропический климат) и г. Хон (сухой тропический климат) в 2009 г. в зависимости от удельных затрат холодильной мощности  $q_0$  при охлаждении воздуха на входе:  $V_{т.у,10}$  – от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (в САЭТТ);  $V_{т.у,15}$  – от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (в АБТТ);  $\Delta V_{т.у,10}$  – от  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  (после АБТТ) до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  (в ЭТТ); — — Триполи; - - - - Хон

Как видно, рациональные значения удельной холодопроизводительности АБТТ  $q_{0,15}$  (охлаждение от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ) для климатических условий г. Триполи (тропический климат) больше, чем для г. Хон (сухой тропический климат), что приводит к соответствующему превышению рациональной удельной холодопроизводительности и всей САЭТТ  $q_{0,10}$  (охлаждение от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в САЭТТ). Рациональные значения удельной холодопроизводительности низкотемпературной эжекторной ступени ЭТТ  $\Delta q_{0,10-15}$  (охлаждение от  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  после АБТТ до  $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$  в ЭТТ) для г. Триполи также несколько больше, чем для г. Хон. При этом годовая удельная экономия топлива  $V_{т.у}$  для климатических условий г. Триполи, наоборот, меньше чем для г. Хон, что всецело определяется величиной снижения температуры воздуха при охлаждение от  $t_{нв}$  до  $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$  в АБТТ. Следствием чего является одинаковая экономия топлива за счет использования низкотемпературной эжекторной ступени ЭТТ для г. Триполи и г. Хон.

## Выводы

1. Из-за сравнительно невысокого теплового потенциала отработавших газов (температура газов примерно  $250^\circ\text{C}$ ) регенеративных ГТД установок автономного энергоснабжения существующие способы



трансформации теплоты, достаточно эффективные для ГТД простой схемы с высоким тепловым потенциалом выпускных газов (температура газов 450...550 °С), не в состоянии обеспечить интегрированное энергетическое холодоснабжение с охлаждением циклового воздуха на входе ГТД и технологическое, в частности, комфортное кондиционирование воздуха объектов разного назначения в тропических условиях эксплуатации, когда особенно остро стоят вопросы падения термодинамической эффективности ГТД из-за высоких температур воздуха на входе.

2. Выявлены резервы совершенствования установок автономного энергоснабжения на базе регенеративных ГТД в климатических условиях эксплуатации Ливии, связанные с повышением эффективности трансформации теплоты отработавших газов ГТД в холод путем ступенчатой трансформации теплоты и глубокого охлаждения воздуха на входе ГТД, которые обеспечивают сокращение удельного расхода топлива ГТД по сравнению с одноступенчатыми процессами.

3. Проанализирована эффективность системы ступенчатой абсорбционно-эжекторной трансформации низкпотенциальной теплоты регенеративных ГТД установок автономного энергообеспечения с АБТТ как высокотемпературной ступенью и ЭТТ как низкотемпературной, которая благодаря более глубокому охлаждению воздуха на входе ГТУ обеспечивает на 20...30 % большее сокращение расхода топлива для климатических условий Ливии по сравнению с традиционными абсорбционными системами.

4. Определены параметры рациональной организации процессов ступенчатой абсорбционно-эжекторной трансформации теплоты отработавших газов регенеративных ГТД малой мощности с охлаждением воздуха на входе (температуры охлаждения воздуха и удельные холодопроизводительности), которые обеспечивают сокращение удельного расхода топлива на 7...12 г/(кВт·ч) для высоких температур наружного воздуха, характерных для Ливии.

### Список использованных источников

1. *Микротурбины FlexEnergy*. – 58 с.  
<http://dg-company.ru/wp-content/uploads/2013/12/flexenergy-microturbines-info.pdf>
2. *Автономные энергосистемы. Microturbines Capstone, OPRA*. – 2011. – 16 с.
3. *Радченко, А.Н. Термoeкономический метод анализа эффективности охлаждения воздуха на входе двигателей теплоиспользующими холодильными*

машинами [Текст] / А.Н. Радченко // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – № 5(151). – С. 30–36.

4. Радченко, Н.И. Анализ эффективности охлаждения воздуха на входе газотурбинных двигателей в жарких климатических условиях [Текст] / Н.И. Радченко, Рами Єл Герби, Рамзи Єл Герби // Газотурбинные технологии: Рыбинск, Россия. – 2013. – № 4 (115). – С. 34–39.

5. Радченко, Н.И. Предварительное охлаждение циклового воздуха газовых турбин малой мощности и комфортное кондиционирование трансформацией теплоты выпускных газов [Текст] / Н.И. Радченко, Рамзи Єл Герби // Зб. наук. праць НУК. – 2013. – № 5–6 (450). – С.100–103.

6. Радченко, А.Н. Охлаждение воздуха на входе рекуперативных ГТД абсорбционной и эжекторной теплоиспользующими холодильными машинами. [Текст] / А.Н. Радченко, Рамзи Єл Герби // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 5 (112). – С. 99–103.

7. Радченко, А.Н. Двухступенчатое охлаждение воздуха на входе рекуперативных ГТД каскадной абсорбционно-эжекторной теплоиспользующей холодильной машиной [Текст] / А.Н. Радченко, Рамзи Єл Герби // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 6 (113). – С. 84–88.

8. Радченко, Н.И. Анализ эффективности комфортного и энергетического кондиционирования воздуха утилизацией теплоты выпускных газов рекуперативных ГТД [Текст] / Н.И. Радченко, Рамзи Єл Герби, А.В. Дубачинский // Зб. наук. праць НУК. – 2013. – № 5–6. – С.20–24.

9. Радченко, Н.И. Ступенчатое кондиционирование воздуха на входе рекуперативных ГТД утилизацией теплоты выпускных газов. [Текст] / Н.И. Радченко, С.А. Кантор, Рамзи Єл Герби // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 3 (110). – С. 86–90.

# ЧАСТИНА IV

---

## Маркетингові аспекти функціонування ринку товарів для повноцінного харчування



*За загальною редакцією*

*професора Савицької Н.Л.*

*завідувача кафедри маркетингу та комерційної діяльності  
Харківського державного університету харчування та торгівлі*

## Розділ 19/Chapter 19

# Малобюджетні методи просування продуктів повноцінного харчування (на прикладі ринку органічного м'яса та м'ясопродуктів)

Н.Л.Савицька, О.П. Афанасьєва

## Low-cost methods of proper nutrition products promotion (for example, the market of organic meat and meat products)

Nataliia Savytska<sup>1</sup>, Oksana Afanasieva

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine*

---

**Abstract:** The main problems identified: improvement of food safety, reduction of environmental pollution, public health, proper nutrition of the general population, low awareness of people about new products and quality food criteria. The marketing component in addressing the issues raised is in development of policy of organic origin products promotion. The work conducted the marketing research of demand for meat and meat products in Kharkiv region by questionnaire, conducted market segmentation by socio-economic and behavioural characteristics, separated and characterized consumer segments. According to the survey results there were identified several options for selecting fresh meat by different segments of consumers, generated consumer profiles of selected market segments according to the most important parameters of buying fresh meat and delicatessen and exclusive meat products. To promote the organic meat products low-cost methods were proposed.

**Keywords:** *nutrition products, market of meat and meat products, promotion methods*

---

<sup>1</sup>Corresponding author e-mail: [natalisavitska2010@gmail.com](mailto:natalisavitska2010@gmail.com)

### Зміст

#### *Вступ*

*19.1. Постановка проблеми дослідження*

*19.2. Маркетингове дослідження ринку м'яса та м'ясопродуктів Харківського регіону*

*19.3. Сегментація ринку органічного м'яса та м'ясопродуктів*

*19.4. Вибір малобюджетних методів просування органічного м'яса та м'ясопродуктів*

#### *Висновки*

#### *Список використаних джерел*

### Вступ

За сучасних умов розвитку ринку продуктів повноцінного харчування, коли підприємства самостійно розробляють нові продукти, приймають і здійснюють рішення про розширення своєї діяльності, різко зріс інтерес до маркетингу. Прагнення топ менеджерів та власників забезпечити підприємству найбільш вигідну конкурентну позицію на ринку, підвищити ефективність виробничо-збутової діяльності в умовах обмеженості ресурсів викликає гостру необхідність розробляти адаптовані до ринкових умов програми малобюджетного маркетингу. Це дозволить зменшити ризик збитковості, оскільки виникає можливість уникнути потенційно фінансово-затратних помилок на етапі стратегічного планування маркетингової діяльності.

З огляду на викладене, у даній науково-практичній роботі здійснено огляд найбільш ефективних методів малобюджетного просування продуктів повноцінного харчування, а також розроблено рекомендації щодо просування органічного м'яса та м'ясопродуктів.

### 19.1. Постановка проблеми дослідження

Харчування більшості дорослого населення не відповідає принципам здорового харчування через споживання харчових продуктів, що містять велику кількість жиру тваринного походження і простих вуглеводів, недостатню кількість в раціоні овочів і фруктів, м'яса, риби і морепродуктів, що призводить до зростання надлишкової маси тіла та ожиріння, поширеність яких за останні 8-9 років зросла з 19 до

23%, збільшуючи ризик розвитку цукрового діабету, захворювань серцево-судинної системи та інших захворювань [1]. Використання антибіотиків при вирощуванні худоби й птиці, синтетичних антиоксидантів для продовження терміну зберігання, надмірне захоплення нетрадиційними добавками шкодить не тільки здоров'ю, але й життю кожного українця. Отже, головною проблемою на ринку продуктів повноцінного харчування є підвищення безпеки продуктів харчування.

Гармонійний розвиток людини, її здоров'я багато в чому пов'язані із станом навколишнього середовища. Погіршення стану навколишнього середовища через викиди промислових підприємств, транспорту, комунальних господарств призводить до забруднення питної води, повітря, ґрунтів. Неприятлива екологічна ситуація, що склалася в нашій країні, не може не впливати насамперед на якість продуктів харчування та інших товарів народного споживання, тому важливим є вирішення проблем зменшення забруднення навколишнього середовища і охорони здоров'я.

На раціон харчування людей впливає соціально-економічна політика, відповідно до якої визначаються рівні оплати праці, пенсій, інших соціальних виплат, що у сукупності зумовлюють платоспроможний попит населення. Падіння купівельної спроможності населення в останні роки призвело до зменшення споживання продуктів харчування до рівня що нижче ніж фізіологічно обґрунтована норма. Отже, постає проблема забезпечення повноцінного харчування всіх верств населення.

В Україні рівень поінформованості населення про вимоги до безпеки продуктів харчування дуже низький, а також низька поінформованість про нові товари для повноцінного харчування, параметри їх якості, переваги та ознаки, що відрізняють їх від інших товарів. Тому саме проблему інформованості населення слід вирішувати за допомогою методів маркетингового просування продуктів повноцінного харчування.

Ці проблеми стосуються також розвитку ринку органічного м'яса та м'ясопродуктів. За оцінками Національного наукового центру «Інститут аграрної економіки» потенційна місткість ринку органічної продукції в Україні оцінюється у 40 млрд. грн., при цьому органічне м'ясо у структурі органічного ринку займає 33% [2], що у грошовому вираженні перевищує 13 млрд. грн. На нашу думку, місткість ринку органічного м'яса зростатиме, оскільки вітчизняні споживачі здебільшого стурбовані якістю м'ясної продукції, яку вони купують, тому розвиток ринку органічного м'яса надасть можливість альтернативного вибору для забезпечення повноцінного харчування.

Активне впровадження малобюджетних методів просування продуктів повноцінного харчування дозволить досягти наступних цілей:

– підвищити обізнаність про виробництво та реалізацію продуктів повноцінного харчування, що безпосередньо впливає на індивідуальний та суспільний добробут;

– створити можливості і поліпшити доступ до корисних продуктів, послуг та місць, які заохочують і підтримують зміну поведінки споживачів на соціально-відповідальну, екологічно безпечну;

– розширити використання наукових комунікаційних стратегій і інструментів для заохочення і підтримки позитивних змін на всіх рівнях суспільства – окремих осіб, сімей, соціальних мереж, організацій і громад.

Для вибору найбільш ефективних методів просування продуктів повноцінного харчування слід визначити особливості попиту на ці товари, що потребує проведення окремих маркетингових досліджень.

### 19.2. Маркетингове дослідження ринку м'яса та м'ясопродуктів Харківського регіону

З метою виявлення особливостей попиту споживачів на ринку м'яса і м'ясопродуктів у Харківській області, нами було проведено маркетингове дослідження методом анкетного письмового опитування мешканців м. Харкова. Під час дослідження опитано 857 осіб, із отриманих анкет відібрано 682 за критерієм місця проживання у Харківському регіоні та наявності відповідей на всі питання анкети, правильності заповнення анкети. Вибірка 682 особи є репрезентативною, оскільки доведено, що для міста з населенням у мільйон мешканців достатня репрезентативність забезпечується вибіркою 400 респондентів [3], а в м. Харкові на момент опитування мешкало за статистичними даними 1453541 осіб[4]. Помилка вибірки складає  $\pm 5\%$ , що достатнім рівнем надійності для польових маркетингових досліджень.

За результатами проведеного дослідження зроблено низку важливих висновків для виробників та продавців м'яса та м'ясопродуктів, що необхідно ураховувати під час просування їх на ринок:

– м'ясо та м'ясопродукти є традиційним продуктом харчування мешканців Харкова, який споживається достатньо часто, 2-3 рази на тиждень, а в окремих випадках – навіть щодня, що свідчить про значну місткість регіонального ринку м'яса та м'ясопродуктів;

– на частоту та обсяги споживання м'яса та м'ясопродуктів значною мірою впливають демографічні та соціальні чинники, зокрема стать, вік, склад родини, а також рівень доходів, що обумовлює необхідність сегментації ринку саме за цими параметрами;

– встановлено наявність незадоволеного попиту окремих верств населення, що здебільшого обумовлено обмеженістю рівня платоспроможності споживачів, а також високими цінами й невідповідністю якості продукції очікуванням та бажанням споживачів. За таких умов виробникам м'яса та м'ясопродуктів необхідно застосовувати політику диференціації цін та розширювати асортимент продукції, враховуючи попит та потреби цільових сегментів ринку;

– харків'яни, в основному, віддають перевагу м'ясу та м'ясопродуктам вітчизняного виробництва, тому акцентом програм просування продукції має стати наголошення на національних традиціях виробництва та споживання м'яса та м'ясопродуктів;

– важливими чинниками вибору м'яса та м'ясопродуктів є нецінові чинники: зовнішній вигляд, запах продукції, гарантії якості, умови купівлі;

– результати оцінки споживачами за наведеними чинниками торговельних об'єктів, в яких реалізують м'ясо та м'ясопродукти, встановлено, що кращий рівень організації продажу даного виду продовольчих товарів встановлено у супермаркетах та фірмових магазинах, зважені оцінки яких перевищують оцінки продовольчих магазинів, ринків та кіосків.

Для вибору методу просування важливо виявити найбільш ефективні канали, через які споживачі отримують необхідну інформацію про товари підприємства. Під час дослідження нами визначено основні джерела інформації для споживачів під час вибору м'яса та м'ясопродуктів(рис. 19.1).

Як видно з результатів дослідження (рис. 19.1), 47,7% респондентів, перш за все, довіряють власному досвіду купівлі та споживання м'яса та м'ясопродуктів. Таким чином, набуває особливої актуальності проведення дегустацій м'ясопродуктів у торговельних підприємствах для ознайомлення споживачів з їх смаковими якостями. На другому місці – поради друзів, знайомих чи інших споживачів, 19,8% респондентів відмітили їх як основне джерело інформації під час купівлі м'яса та м'ясопродуктів. Це є підставою для формування на виробничих та торговельних підприємствах системи WOM-маркетингу, тобто розповсюдження позитивних відгуків про підприємство та його продукцію самими споживачами серед своїх знайомих, на форумах та соціальних мережах Інтернет. На третьому місці – інформація на упаковці товару (15,8%), що свідчить про необхідність приділення уваги розробці інформаційних і рекламних блоків на упаковці або етикетці товарів. Найменше споживачі довіряють засобам масової інформації (3,6%) та інформації продавців (4,6%).



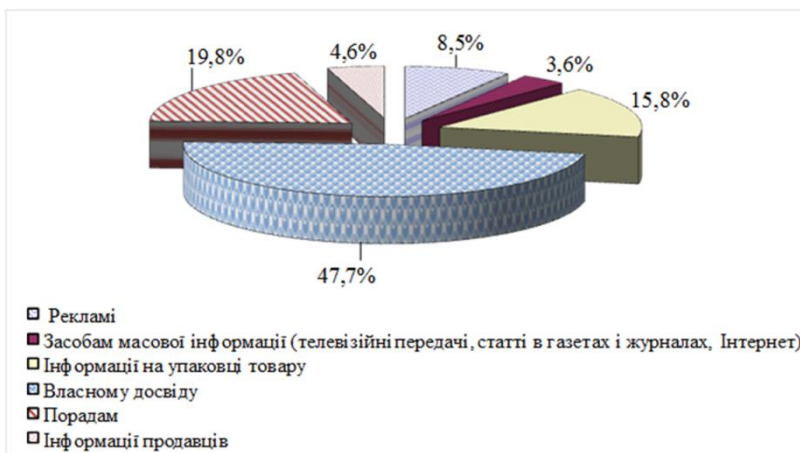


Рис. 19.1. Джерела інформації, яким довіряють споживачі під час вибору м'яса та м'ясопродуктів

Отже, основним завданням виробників м'яса та м'ясопродуктів а також торговельних підприємств є систематичне дотримання високої якості продукції, переконання споживачів у цьому, що сприятиме формуванню їх довіри, стійких споживчих прихильних та готовності надалі купувати й рекомендувати певний магазин чи продукцію певного виробника.

Результати маркетингового дослідження використовують для визначення відмінностей у потребах різних груп споживачів, що дозволяє провести сегментацію ринку і просувати продукти повноцінного харчування на кожному сегменті ринку, використовуючи їх специфіку.

### 19.3. Сегментація ринку органічного м'яса та м'ясопродуктів

За даними проведеного анкетного опитування, нами виявлено відмінності у виборі м'яса та м'ясопродуктів, поведінкою під час їх вибору у споживачів із різним рівнем доходів. Спостерігається пряма залежність вибору м'яса та м'ясопродуктів за ціновими параметрами залежно від рівня доходів споживачів. Це зумовлює доцільність проведення сегментації ринку за демографічними та поведінковими ознаками. Виходячи із цього, визначено матрицю сегментації ринку м'яса

та м'ясопродуктів (табл. 19.1), у якій виділено три сегменти споживачів.

Таблиця 19.1

**Матриця сегментації ринку за рівнем доходу**  
(власна розробка авторів на основі проведеного дослідження)

Вимоги до купівлі	Рівень доходів, грн. на місяць на 1 особу в домогосподарстві				
	≤ 3000	3001-4500	4501-6000	6001-7500	≥ 7501
Низькі	Економні				
Середні		Любителі м'ясного			
Високі				Вимогливі м'ясоїди	

Таким чином, підприємства можуть орієнтуватись у своїй діяльності на наступні профілі сегментів споживачів

– «економні» – це споживачі, що мають низький і нижче середнього рівень доходу до 3000 грн. на місяць на одну особу в домогосподарстві, тому обмежені у можливостях купувати дорогі продукти харчування і, зазвичай, висувають низькі вимоги до продуктів, орієнтуючись на низьку ціну, за родом занять це пенсіонери, студенти, багатодітні родини;

– «любителі м'ясного» – це споживачі, що мають середній рівень доходу 3001-6000 грн. на місяць на одну особу в домогосподарстві, тому витрачають більше на продукти, мають можливість для різноманітного харчування і висувають до продуктів харчування вимоги середнього рівня, орієнтуючись на середні ціни, при цьому не купують дешево, вважаючи його не якісним, проте і на дорогі види м'яса та м'ясопродуктів не вистачає коштів чи не бачать сенсу витратитись, за родом занять це працівники бюджетної сфери, службовці і робітники;

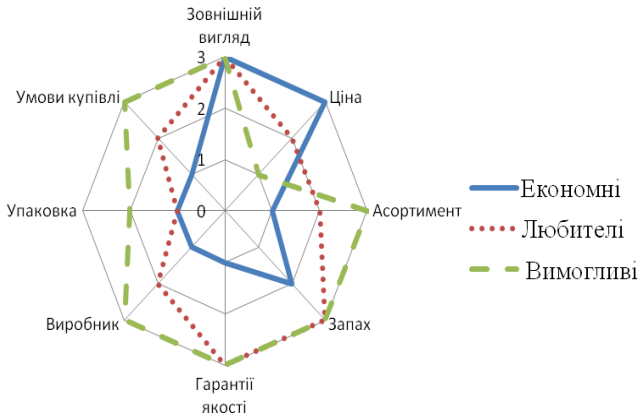
– «вимогливі м'ясоїди» – це споживачі, що мають рівень доходу вище середнього рівня – 6001-7500 грн. і високий рівень – більше 7501 грн. на місяць на одну людину в домогосподарстві, тому мають можливість обирати дорогі продукти, які більш якісні, безпечні та престижні, і висувають певні вимоги як до продуктів так і до умов їх купівлі, за родом занять це підприємці, керівники організацій і установ, менеджери вищого рівня.

Результати споживчого вибору у виділених сегментах, дозволяють встановити найважливіші параметри купівлі свіжого м'яса для споживачів (рис. 2):

– сегменту «економні» – доступна ціна і зовнішній вигляд;

– сегменту «любителі м'ясного» – зовнішній вигляд, запах і гарантії якості;

– сегменту «вимогливі м'ясоїди» – зовнішній вигляд, запах, умови купівлі, виробник, асортимент і гарантії якості.



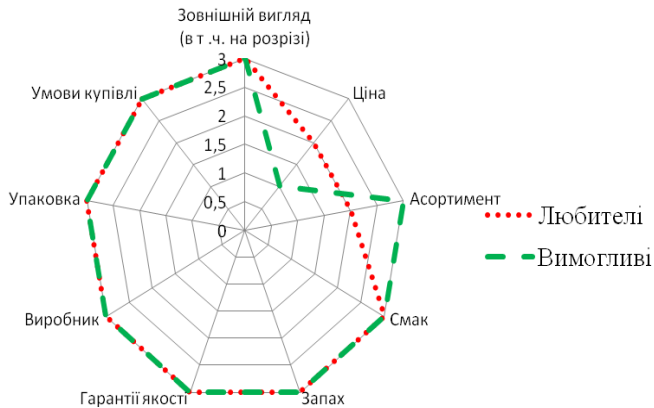
**Рис. 19.2. Споживчий профіль сегментів ринку за важливістю параметрів купівлі свіжого м'яса**

Вибір делікатесних та ексклюзивних м'ясопродуктів недоступний для сегменту «економні», тому він присутній лише у споживачів двох сегментів – «любителі м'ясного» та «вимогливі м'ясоїди»

На рис. 19.2 видно, що для сегменту «любителі м'ясного» ціна матиме більше значення, ніж для «вимогливих м'ясоїдів», що визначається їх нижчим доходом. Крім того, «любителі м'ясного» купують делікатесні та ексклюзивні вироби у меншій кількості та рідше, зазвичай, на свята.

Виходячи із того, що для сегментів споживачів «любителі м'ясного» та «вимогливі м'ясоїди», окрім ціни, всі інші параметри мають рівнозначне положення (рис. 19.3), тому слід шукати аргументи для просування у більш глибокій сегментації, зокрема на відмінностях психографічних ознак сегментів.

Для глибокої сегментації ринку був обраний відомий метод AID (автоматичний детектор взаємодії) [5]. Відповідно до цього методу, вибирається будь-який системоутворюючий критерій.



**Рис. 19.3. Споживчий профіль сегментів ринку за важливістю параметрів купівлі делікатесних та ексклюзивних м'ясопродуктів**

Потім вибірка ділиться на ряд підгруп, таким чином формуються підгрупи, у рамках яких спостерігається високе значення системоутворюючого критерію (рис. 19.4). Споживачі сегменту «вимогливі м'ясоїди» не тільки повною мірою задовольняють потребу у м'ясі та м'ясопродуктах, а й можуть дозволити собі дорожчу якісну, а також делікатесну та ексклюзивну продукцію, пропозиція якої на ринку є недостатньою, тому саме на нього слід орієнтувати нішеві продукти, які призначені для задоволення спеціалізованого попиту. Отже, як видно на рис. 19.4, цільовими сегментами ринку органічної м'ясної продукції вважаємо споживачів із високим рівнем доходів («вимогливі м'ясоїди»), що купують товари особливого попиту. За психографічними та поведінковими ознаками виділено наступні сегменти: «гурме», «епікури», «життєлюби» і «турботливі батьки», для кожного з яких слід обрати певні методи просування.

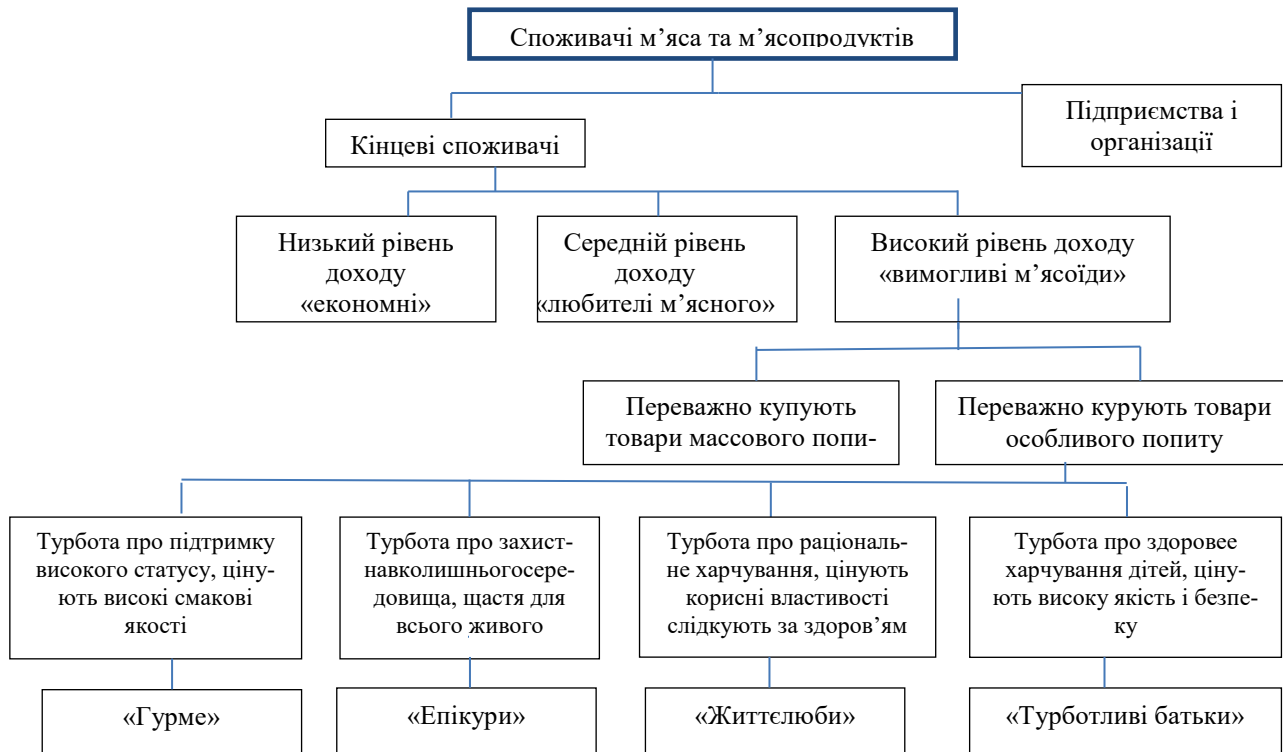


Рис. 19.4. Сегментація ринку м'яса та м'ясопродуктів за методом AID (власна розробка авторів)

## 19.4. Вибір малобюджетних методів просування органічного м'яса та м'ясопродуктів

Оскільки для підприємств важливим є забезпечення найбільш вигідної конкурентної позиції на ринку, підвищити ефективність виробничо-збутової діяльності в умовах обмеженості у ресурсах, слід розробляти адаптовані до ринкових умов програми малобюджетного маркетингу, зокрема програму малобюджетного просування.

Маркетингова комунікаційна політика значною мірою повинна сприяти формуванню культури споживання органічної м'ясної продукції, що в майбутньому має забезпечити стабільність попиту на неї та його подальше зростання, тому вона має бути інтегрованою та інноваційною, ураховувати сучасні тенденції та інструменти комунікацій.

Зважаючи на зниження ефективності прямої реклами та відповідно до наведених обставин, пропонується застосування WOM-маркетингу для просування органічної м'ясної продукції й формування культури її споживання. Основними перевагами WOM-маркетингу є нижчі витрати на маркетингові заходи просування та найголовніше – більша довіра споживачів, ніж просто до реклами.

WOM-маркетинг можна розглядати в якості інноваційного маркетингового інструменту, засобами якого є шумовий, вірусний, локальний, «проповідуваний» маркетинг, маркетинг співтовариств тощо, система цих інструментів та можливості їх використання для просування органічної м'ясної продукції представлені на рис. 19.5. Розвиток сучасних інформаційних технологій та збільшення аудиторії мережі Інтернет зумовлює необхідність активізації комунікацій із споживачами в соціальних мережах, які є одними з основних інструментів WOM-маркетингу, до того ж майже безкоштовним та тим, що дозволить охопити значну аудиторію потенційних споживачів. Інтернет-комунікації також дозволять більш ефективно працювати саме із цільовими аудиторіями, виділяючи їх групи в соціальних мережах, на форумах тощо. Саме використовуючи SMM-маркетинг, через соціальні мережі, форуми, блоги необхідно надати повну та всеохоплюючу інформацію щодо органічної м'ясної продукції.

Для малобюджетного просування органічного м'яса та м'ясопродуктів пропонуємо наступні методи, які випробувані ринком і показали свою результативність.



Рис. 19.5. Система WOM-маркетингу для просування органічної м'ясної продукції та формування культури її споживання

1. *Виставки з дегустацією продуктів.* Оскільки близько половини споживачів (47,7% за результатами опитування (рис. 19.1)) під час вибору м'яса та м'ясопродуктів довіряють лише власному досвіду споживання, то дегустація цих продуктів буде визначальним фактором купівлі. Галузеві виставки - це хороший привід попіарити підприємство і його продукцію як серед партнерів, так і серед цільової аудиторії. Це може бути просто розміщення в каталозі виставки, розміщення на сайті, оренда 2-3 кв. метрів при вході на виставку, роздачата вкладення в пакет учасника буклетів про унікальність продуктів, організація фотографа з моментальною печаткою фотографій на фоні press-wall з логотипами підприємства, тощо.

2. *Внутрішні заходи.* Оскільки люди прислуховуються до порад спеціалістів чи експертів у певній сфері (19,8% респондентів, рис. 19.1), то варто організувати внутрішні заходи для цільової аудиторії потенційних клієнтів, наприклад: міні-семінарів, мікро-тренінгу, де вони можуть отримати певні знання чи навички. Наприклад, шеф-кухар відомого ресторану може провести майстер-клас з приготування фірмової страви з використанням органічного м'яса. Це можна проводити на підприємстві або про проведення такого майстер-класу можна домовитися з власником кафе, клубу або ресторану, які також зацікавлені в відвідувачах і продажах кухні і бару.

3. *Зовнішні заходи.* Відповідно до переваг споживачів цільової аудиторії, визначити місця їхнього відпочинку, дозвілля, домовитись із власниками цих закладів про проведення вечорів здорового харчування, розіграш подарункових наборів, тощо. Приймати участь у заходах, що організуються на рівні міста та області – це можуть бути семінари, конференції, з'їзди, чемпіонати, спортивні змагання тощо.

4. *Безкоштовний контент для ЗМІ.* Щотижня можна випускати прес-релізи про діяльність компанії, що поширюється по мережі і за всіма доступними каналам комунікацій: сайт, корпоративна газета для клієнтів, новинна розсилка, дошка оголошень в торговому залі або приймальні тощо. Також доречно розсилати новини зацікавленим виданням регіонального і національного рівня - як друкованим газетам і журналам, так і онлайн ЗМІ. Крім того, слід створювати більш змістовні публікації в пресі - це можуть бути інтерв'ю на тему проблем на ринку продуктів повноцінного харчування, з якоїсь проблеми споживачів, аналітичні звіти і зрізи, статистичні дані, просто цікаві публікації у спеціальну цікаву рубрику. Особливої уваги потребує поширення у ЗМІ відгуків клієнтів про враження від споживання продукції підприємства.



5. *Подарункові сертифікати, програми лояльності.* Щоб клієнту захотілося не тільки прийти ще раз, але привести ще когось з собою в наступний раз, йому слід отримати подарункові сертифікати чи карту клієнта з певними привілеями. Це дуже стимулює споживачів купувати більше або частіше.

6. *Крос-маркетингові акції з партнерами.* На ринку продуктів повноцінного харчування підприємства можуть працювати допомагаючи один одному. Наприклад, можна організувати спільні акції з підприємствами, продукти яких можуть доповнювати один одного для однієї і тієї ж цільової аудиторії. Наприклад, органічні м'ясо та м'ясопродукти можна пропонувати разом із органічними кашами чи овочами, пропонуючи їх із знижкою чи в подарунок за великий обсяг купівлі.

7. *WOM-маркетинг («сарафанне радіо»).* Споживачі перш ніж купити продукти, шукають відзиви інших споживачів про досвід споживач цих продуктів і довіряють цим відзивам більше ніж комерційній рекламі. Саме тому слід використовувати такий ефективний і малобюджетний метод просування як WOM-маркетинг (Word-of-Mouth-реклама із вуст в уста чи «сарафанне радіо»), що став дуже популярним останнім часом (рис. 19.5).

Для просування органічного м'яса та м'ясопродуктів пропонуємо використовувати наступні інструменти WOM-маркетингу: шумовий, вірусний, локальний, «проповідуваний» маркетинг, маркетинг співтовариств, семплінг продукту, Influencer Marketing, Cause-related Marketing та інші.

8. *SMM-просування в соціальних мережах.* Інтернет-комунікації також дозволять більш ефективно працювати саме із цільовими аудиторіями, виділяючи їх групи в соціальних мережах, на форумах тощо. Саме використовуючи SMM-маркетинг, через соціальні мережі, форуми, блоги необхідно надати повну та всеохоплюючу інформацію щодо виробництва органічної продукції на конкретному підприємстві, відгуки споживачів. Це дозволить потенційним споживачам зрозуміти відмінні риси органічної продукції, як її відрізнити від неорганічної, осягнути її споживчу цінність та переваги, чому за неї треба більше платити; як проходить сертифікація тощо.

На етапі низької інформованості споживачів щодо органічної м'ясної продукції важливо використовувати різні методи просування на державному та регіональному рівнях, використовуючи особливості попиту кожного сегменту ринку. Для кожної цільової аудиторії споживачів запропоновано особливе звернення – слоган, стиль і форма,

для найбільш точного представлення інформації у відповідності до характеристики і потреб споживачів визначених сегментів ринку (табл. 19.2), які слід використовувати у комунікаційних засобах.

Таблиця 19.2

**Цільові аудиторії споживачів органічного м'яса та м'ясопродуктів**

Цільові аудиторії споживачів	Характеристика цільової аудиторії – психологічний портрет покупців	Звернення до цільової аудиторії	
		Слоган	Стиль і форма
“Турботливі батьки”	Споживачі м'ясопродуктів для дитячого харчування, якість і необхідна корисність для них основний показник при виборі, вимогливі	“Якісні м'ясопродукти – здорові діти”	Використання символічного персонажу, що турбується про здоров'я власної родини, даних наукових розробок
“Життєлюбів”	Споживачі, які цінують корисні властивості сертифікованих м'ясопродуктів слідкують за своїм здоров'ям, розсудливі	«Здорова їжа – здорове життя»	Використання наукових даних, створення образу молодості і довголіття
“Епікури ”	Споживачі, смаки яких закладені в дитинстві, любителі натуральних якісних м'ясопродуктів. Вибір здійснюється за мотивами захисту навколишнього природного середовища, щастя для всього живого	«Краса природи – краса тіла і душі людини»	Акцент на здоровий спосіб життя, використання образів краси природи, щасливих тварин
“Гурме”	Споживачі, які цікавляться новинками, які прагнуть відповідати лідерам споживання. Вони звертають увагу на вид і дизайн упаковки, підлягають впливу модних тенденцій, творчі натури	“Справжній смак кращого життя”	Створення фантазійної обстановки, настрою, підтвердження високого статусу

Усі перелічені методи малобюджетного просування у сукупності дозволять подолати кризу довіри до органічної продукції та сприятимуть формуванню попиту на неї.

### Висновки

1. За сучасних умов функціонування споживчого ринку виявлено, що для соціально-значущого ринку м'яса та м'ясопродуктів актуалізуються проблеми сталого розвитку як передумови створення базису добробуту майбутніх поколінь. До основних проблемних питань належать: підвищення безпеки продуктів харчування, зменшення забруднення навколишнього середовища, охорона здоров'я, повноцінне харчування широких верств населення, низька поінформованість населення про нові товари і параметри якості продуктів харчування. Маркетингова складова у вирішенні поставлених питань полягає у розробці політики просування продуктів органічного походження.

2. Проведене маркетингове дослідження попиту на м'ясо та м'ясопродукти в Харківському регіоні методом анкетування дозволило виявити купівельні переваги споживачів м'яса та м'ясопродуктів та причини незадоволеного попиту, що зумовлені складною соціально-економічною ситуацією та відсутністю на ринку достатньої пропозиції високоякісних та безпечних товарних продуктів.

3. Ураховуючи відмінності у формуванні попиту на м'ясо та м'ясопродукти, здійснено сегментацію ринку за соціально-економічними (рівень доходу) та поведінковими (вимоги до купівлі) ознаками, виділено й охарактеризовано споживчі сегменти: «економні», «любители м'ясного», «вимогливі м'ясоїди». За результатами анкетування визначено параметри вибору свіжого м'яса різними сегментами споживачів, сформовано споживчі профілі виділених сегментів ринку за важливістю параметрів купівлі свіжого м'яса, а також делікатесних та ексклюзивних м'ясопродуктів. Для кожного із сегментів ринку визначено важливість параметрів вибору (зовнішній вигляд, ціна, асортимент, запах, гарантії якості, виробник, упаковка, умови продажу). За поведінковими та психографічними ознакам визначено сегменти: «гурме», «епікури», «життєлюби» і «турботливі батьки».

4. Для просування органічної м'ясної продукції запропоновано використання малобюджетних методів: виставки з дегустацією продуктів, внутрішні і зовнішні заходи для цільової аудиторії, безкоштовний контент для ЗМІ, подарункові сертифікати, програми лояльності, крос-

маркетингові акції з партнерами, WOM-маркетинг, SMM-просування в соціальних мережах.

### **Список використаних джерел**

1. Альхамова Г. К., та ін. (2014) *Продукти функціонального призначення*, Молодий вчений, 12, сс. 62-65.
2. *Місткість ринку органічної продукції в Україні* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://amdi.org.ua/docs/RT20130626/Voskobyinuk.pdf>.
3. Полтораєв В. А. (2003), *Маркетингові дослідження : навч. посібник*, – К. : Центр навчальної літератури.
4. *Головне управління статистики у Харківській області* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://kh.ukrstat.gov.ua>
5. *Підходи до сегментування ринку* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.advanter.ua/articles.php?articlesid=12>.

## Розділ 20/Chapter 20

# Маркетингові інструменти просування функціональних продуктів харчування (ФПХ)

О.В. Жегус, В. В. Євлаш, С.В. Нікітін

## The marketing tools of promotion of functional foods

Olga Zhegus\*, Victoryay Evlash, Sergey Nikitin

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine*

**Abstract:** The market development of functional foods is an actual problem in Ukraine. The article proved the growing need for functional nutrition products (FNP), which is caused by imbalances in nutrition in Ukraine, declining of food safety. It grounds the necessity of studying the potential demand and consumer perception of FNP, determination of willingness to purchase such products with curative properties. The article gives the characteristic for directions of development of innovative technologies of FNP by HDUHT scientists, including the determination of production technology of FNP, enriched with vitamin C; FNP containing Slano kelp and wakame; FNP with heme iron. It also describes the consumer characteristics of "Fruit bar with heme iron", its prophylactic characteristics, defines the competitive advantage over products with heme iron, which are represented in the market. The article noted the need to form a marketing policy of FNP promotion in the market, which involves the selection of appropriate marketing tools. Marketing efforts should target a healthy lifestyle, stimulate the demand for products with curative properties and then - creating demand for "Fruit bar with heme iron". The priority market segments and motives of consumption of "Fruit bar with heme iron" by different segments of customers were determined. According to certain segments the article provide the recommendations concerning sales channels and promotion tools of the offered FNP to the market. The author also noted the need to use modern information and communication technologies, including Internet marketing. The necessity of involving and informing the consumer about the therapeutic and prophylactic properties of "Fruit bar with heme iron" and their promotion by professionals with a high level of consumers trust was identified.

**Keywords:** *nutrition, functional foods, fruit of heme iron bar, consumer characteristics, marketing policy, marketing promotion tools, creating demand*

---

\* Corresponding author e-mail: [gegus.home.com@mail.ru](mailto:gegus.home.com@mail.ru)

## Зміст

### Вступ

*20.1. Передумови розвитку промислового виробництва функціональних продуктів харчування*

*20.2. Аналіз споживчого сприйняття функціональних продуктів харчування*

*20.3. Інноваційні розробки функціональних продуктів харчування у ХДУХТ*

*20.4. Споживчі характеристики «Фруктового батончика з гемовим залізом»*

*20.5. Маркетингові інструменти просування «Фруктового батончика з гемовим залізом»*

### Висновки

### Список використаних джерел

## Вступ

Проблеми здоров'я нації мають багатоаспектний комплексний характер, вирішення яких є необхідним соціально-економічним завданням. Оскільки історичний досвід і розвиток науки про здоров'я людини мають переконливі дані про роль харчування в підтримці життєздатності, соціальної активності, а також у забезпеченні здоров'я, тривалості життя та гідної його якості, особливе значення має забезпечення повноцінного та раціонального харчування населення.

Науковці ОНАХТ відзначають, що на здоров'я впливають: людський чинник – на 50% (організація якісного харчування – 25%, якість харчування – 15%, фізичне здоров'я – на 10%, психічне здоров'я – на 8%); екологічний чинник – 25% (екзоекологія – 10%, ендоекологія – 15%); соціально-педагогічний чинник – 40% (спосіб життя (матеріальні умови праці і побуту) – 15%, поведінка, режим життя, звички – 25%); медичний чинник – 10%. Важлива роль у забезпеченні високого рівня здоров'я, збільшення тривалості життя, збереження працездатності людини належить харчуванню. Воно має бути раціональним (розумним) [21]. Отже у сукупності традиції у харчуванні людини більш, ніж на третину забезпечують його здоров'я, від них залежать самопочуття, імунітет, працездатність, психологічний та емоційний стан. Тому важливим є організація правильного, раціонального харчування, яке в значній мірі залежить від якості та складу, харчової цінності продуктів, що вживаються.

У сучасних умовах актуалізується необхідність підвищення споживчої цінності продуктів з метою посилення позитивної їх дії на здоров'я людини. У цьому контексті активізуються інноваційні процеси щодо розробки функціональних продуктів харчування. Основна їх відміна від традиційних полягає у тому, що вони мають лікувально-профілактичні властивості та крім поживних інгредієнтів містять функціональні, які позитивно впливають на організм людини, що допомагає адаптуватися до впливу зовнішнього середовища, запобігати виникненню захворювань і попереджати передчасне старіння [3]. Для насичення продовольчого ринку функціональними продуктами харчування необхідним є розширення їх промислового виробництва та належне маркетингове забезпечення просування нових продуктів на ринок.

### **20.1. Передумови розвитку промислового виробництва функціональних продуктів харчування**

Ураховуючи, що раціональне харчування – це фізіологічно повноцінне харчування з врахуванням особливостей кожної людини, яке забезпечує постійний стан внутрішнього середовища організму, підтримує його життєві прояви (ріст, розвиток, діяльність різних органів і систем), сприяє зміцненню здоров'я, підвищенню опору організму людини інфекціям [21], його основу мають складати повноцінні продукти харчування, які складаються виключно із корисних інгредієнтів, мають високу харчову цінність, тобто здатні задовольняти фізіологічні потреби людини в необхідних речовинах. Залежно від характеру потреб і корисності для організму людини розрізняють такі споживчі цінності: енергетичну, біологічну (повноцінність і ефективність), фізіологічну, органолептичну, а також засвоюваність і безпеку.

В сучасних умовах продовольчий ринок насичено широким асортиментом як безпечних, так і небезпечних продуктів харчування різних товарних груп та виробників. При цьому на ринку у більшості представлені традиційні харчові продукти, відповідно до Закону України «Про безпечність та якість харчових продуктів» – це харчовий продукт з особливими характеристиками, що чітко відрізняють його від інших продуктів цього ж виду у результаті використання традиційних інгредієнтів та/або внаслідок традиційного складу, та/або використання традиційної технології виробництва/переробки. Традиційним харчовим продуктом є той, що використовується в практиці

та/або відповідає специфікаціям, що існували останні 30 років до моменту визначення того, чи підпадає харчовий продукт під категорію традиційних. Зміни у пакуванні та маркуванні, які не змінюють особливі характеристики традиційного продукту, не впливають на його визначення як традиційного [15]. Унаслідок цього споживачі мають право вільного вибору продуктів харчування залежно від рівня доходу, смакових уподобань, стилю життя, але не завжди розуміючи їх харчову цінність та вплив на здоров'я.

Високі споживні властивості продукту, достатність у раціоні, відсутність у ньому шкідливих компонентів та його безпечність, – головні вимоги, що забезпечують раціональне харчування. Важливими умовами збереження здоров'я нації є повне задоволення фізіологічних потреб у їжі, яке повинне забезпечувати організм необхідною енергією та харчовими речовинами. Тому в умовах поглиблення соціально-економічної кризи в Україні, унаслідок якої знижується платоспроможний попит, загострюється проблема продовольчої безпеки, що зумовлено невідповідністю фактичного споживання продуктів раціональним нормам.

Відповідно до Проекту Закону України «Про основи продовольчої безпеки України» рівень продовольчої безпеки визначено як стан, при якому всім членам суспільства гарантований доступ до життєво важливих продуктів харчування у відповідності з науково обґрунтованими наборами продуктів харчування. Його запропоновано визначати рівнем дефіциту (нестачі) продовольчого споживання, який обчислюється як різниця між науково обґрунтованими наборами продуктів харчування і фактичним рівнем споживання цих продуктів у відсотках [16]. За даними Державної служби статистики [20] розраховано показник дефіциту продовольчого споживання в Україні за основними продуктами харчування (табл. 20.1).

Із поглибленням соціально-економічної кризи у 2014-2015 рр. погіршилися показники споживання основних продуктів харчування. Найбільше скоротилося споживання риби, на 33,3%; фруктів та ягід – на 16,2%; олії та інших рослинних жирів – на 11%; картоплі – на 14,3%; м'яса та м'ясопродуктів – на 10%; овочів – на 7,4%, навіть хліба і хлібопродуктів – майже на 10%, лише на 3,1% зросло споживання молока та молокопродуктів. У 2010 р. суттєвий дефіцит продовольчого споживання спостерігався за такими продуктами як молоко і молочні продукти, картопля та овочі, м'ясо та м'ясопродукти, яйця. У 2015 р. ситуація погіршилася як за цими продуктами, так і за іншими: дефіцит споживання риби та рибопродуктів зріс до 28%, м'яса та м'ясопродуктів – до 31%, картоплі та овочів майже до 35%, фруктів –



до 59%. Унаслідок цього харчування населення України є неповноцінним та розбалансованим, склався переважно вуглеводний тип із надмірним споживанням хліба та хлібопродуктів. У той же має місце недостатнє споживанням білка, критично мале споживанням вітамінів та мікроелементів, які забезпечуються овочами та фруктами. Для усунення недоліків у харчуванні, забезпечення організму усіма необхідними компонентами потрібні функціональні продукти харчування – харчові повноцінні продукти, збагачені поживними дієтичними добавками.

У зв'язку із ситуацією, що склалася виникає необхідність розробки технологій та запровадження у виробництво якісно нових продуктів функціональних харчування із підвищеною харчовою цінністю. Залежно від використаної добавки функціональні продукти харчування можуть бути призначені для попередження різних захворювань, зміцнення захисних сил організму, зниження ризику впливу токсичних сполук і несприятливої екологічної дії [18].

За останні роки в науці про харчування сформовано концепцію функціонального харчування, згідно з якою функціональний продукт, крім впливу традиційних поживних речовин, що він містить, повинен благотворно впливати на здоров'я людини, регулювати певні процеси в організмі та запобігати розвитку певних захворювань. Основна увага під час розробки та створення функціональних продуктів харчування приділяється медико-біологічним вимогам до нових продуктів і добавок [11]. Наукова стратегія і тактика створення функціональних продуктів харчування включає медико-біологічні та технологічні аспекти, клінічну ефективність [18], проте зовсім упущені маркетингові аспекти, які повинні забезпечити успіх нових товарів на ринку.

Передумовою успіху нового товару на ринку є вивчення потреб та переваг споживачів, тому під час розробки інноваційних проектів у першу чергу потрібні маркетингові дослідження щодо виявлення потенційного попиту, що дозволить розробити маркетингову стратегію виведення нового товару на ринок.

Таблиця 20.1

**Споживання продуктів харчування домогосподарствами в Україні у 2010-2015 рр.  
(кг на одну особу на місяць)**

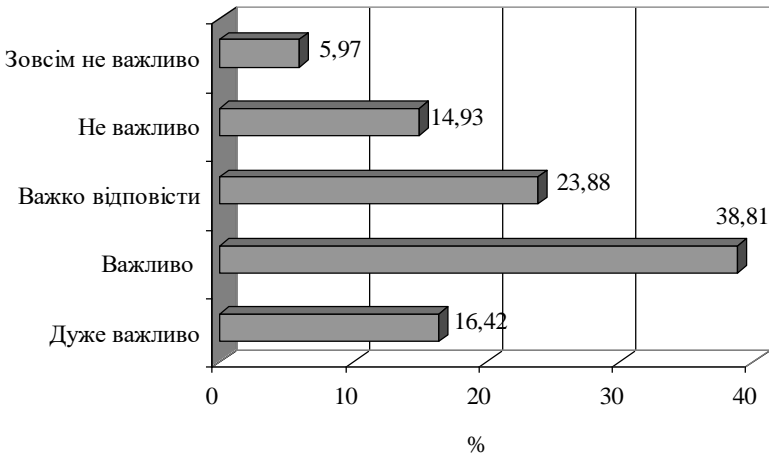
Продукт харчування	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Тр 2015 до 2010, %	Раціональна норма, кг на місяць	Дефіцит про- довольчого споживання у 2010 р., %	Дефіцит про- довольчого споживання у 2015 р., %
М'ясо і м'ясопродукти, кг	5,1	5,1	5	5,1	4,9	4,6	90,2	6,7	23,5	31,0
Молоко і молочні продукти, кг	19,2	19,1	19,6	20,3	20,3	19,8	103,1	31,7	39,4	37,5
Яйця, шт.	20	20	20	20	20	19	95,0	24,2	17,2	21,4
Риба і рибопро- дукти, кг	1,8	1,7	1,7	1,8	1,6	1,2	66,7	1,7	-	28,0
Цукор, кг	3	3,2	3,1	3	3	2,8	93,3	3,2	5,3	11,6
Олія та інші рослин- ні жири, кг	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	88,9	1,1	-	-
Картопля, кг	7,7	7,9	7,8	7,1	6,9	6,6	85,7	10,3	25,5	36,1
Овочі та баштанні, кг	9,5	9,9	10,1	9,4	9	8,8	92,6	13,4	29,2	34,4
Фрукти, ягоди, горіхи, виноград, кг	3,7	3,7	3,7	4,1	3,7	3,1	83,8	7,5	50,7	58,7
Хліб і хлібні про- дукти, кг	9,3	9,2	9,1	9	9	8,5	91,4	8,4	-	-

### 20.2. Аналіз споживчого сприйняття функціональних продуктів харчування

В Україні стрімко зростає кількість людей, які свідомо приділяють увагу раціону свого харчування, намагаючись зробити його корисним та раціональним, тому тема повноцінного харчування стає все більш актуальною. У зв'язку із цим збільшуються потреби населення у продуктах повноцінного харчування. У відповідь на ці виклики сучасна наука та харчова промисловість спрямовують зусилля на удосконалення технологій виробництва продуктів харчування, підвищення їх споживчої цінності, збагачення поживними речовинами, що сприяє збільшенню асортименту продуктів функціонального призначення. Проте для їх виведення на ринок потрібна відповідна маркетингова політика, яка має базуватися на потребах та бажаннях потенційних споживачів. Крім того, для забезпечення стабільного попиту, його постійного зростання й підвищення обсягів збуту на цій основі необхідно спрямувати маркетингову політику на формування попиту та культури споживання продуктів функціонального призначення. Для прийняття обґрунтованих рішень щодо вибору інструментів маркетингової політики просування продуктів функціонального призначення Міжнародному науково-практичному семінарі "Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технологій, енергоєфективної переробки, зберігання та маркетингу" було проведено опитування експертів, у ролі яких виступили фахівці харчової промисловості, науковці різних регіонів України (Харківської, Херсонської, Одеської, Сумської областей) у кількості 67 осіб, які відзначили свою думку щодо важливості збагачення продуктів харчування поживними дієтичними добавками, необхідності збільшення на ринку пропозиції даних продуктів та інших важливих аспектів. Серед опитаних 65,7% - жінки та 34,3% - чоловіки, різного віку від 19 до 70 років.

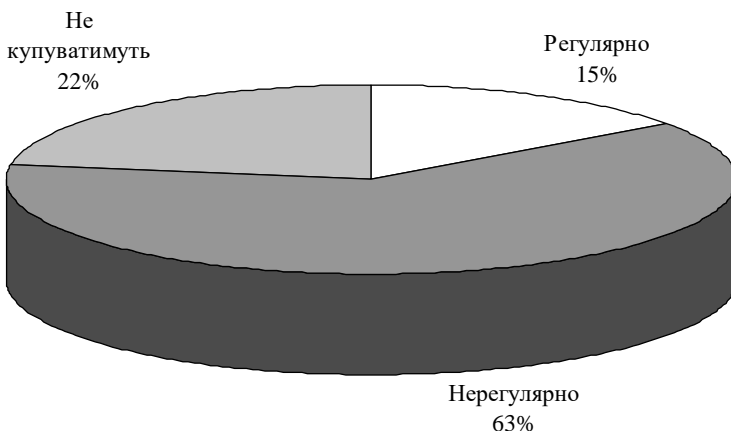
Попит та потреби споживачів у продуктах функціонального призначення значною мірою залежать від стилю життя та переваг у харчуванні, тобто того, наскільки людина переймається своїм здоров'ям та здоров'ям дітей, розуміє важливість та необхідність раціоналізації харчування. За результатами опитування встановлено, що менша частина опитаних, а саме 31,3%, регулярно слідкують за своїм здоров'ям, у тому числі намагаються забезпечити якісне та повноцінне харчування. Проте, 46% опитаних відзначили, що нерегулярно слідкують за своїм здоров'ям. При цьому продуктам оздоровчого харчування віддають перевагу лише 28,4% опитаних, а 65,7% купують переважно традиційні продукти харчування.

Більшість респондентів відзначили важливість збагачення продуктів харчування поживними дієтичними добавками. Відповідно до рис. 20.1 дуже важливим даний аспект вважають 16,4% опитаних та важливим - 38,8%. 23,9% респондентів не змогли визначитися із цим аспектом, невпевненість яких, на нашу думку, здебільшого пов'язана із недостатніми перспективами їх успіху на споживчому ринку через низьку зацікавленість та обізнаність потенційних споживачів щодо їх, по-перше, наявності, а по-друге – щодо харчових та смакових властивостей.



**Рис. 20.1. Розподіл респондентів за думкою щодо важливості збагачення продуктів харчування поживними дієтичними добавками**

Рівень купівлі продуктів харчування збагачених поживними дієтичними добавками наразі виявився низьким (рис. 20.2). Лише 15% опитаних купують продукти з лікувально-профілактичними властивостями, ще 63% - нерегулярно, а 22% - взагалі не купують, що зумовлює необхідність використання політики стимулюючого та розвиваючого маркетингу під час просування даних продуктів на ринок та обирати інструменти формування й стимулювання попиту.



**Рис. 20.2. Розподіл респондентів за активністю купівлі продуктів з лікувально-профілактичними властивостями**

Не зважаючи на недостатню активність щодо купівлі продуктів з лікувально-профілактичними властивостями більшість опитаних, зокрема 82,1% вважають за необхідне збільшення на ринку їх пропозиції, що вважаємо доречним з огляду на наявність достатнього потенціалу ринку, який підтверджується тим, що 38,8% опитаних планують у майбутньому щонайменше раз на тиждень, а то й 2-3 рази купувати продукти з лікувально-профілактичними властивостями, крім того, за необхідністю планують їх купувати ще 50,7% (рис. 20.3). Таким чином виявлено потенційний попит, який потрібно стимулювати та розвивати.

При цьому слід урахувувати важливість чинників під час вибору продуктів з лікувально-профілактичними властивостями. За результатами опитування встановлено, що найбільш важливими чинниками для респондентів виявлено склад продукту, їх коефіцієнт вагомості становить 0,273; на другому місці смак та наявність у продукті поживних дієтичних добавок, коефіцієнти їх вагомості – 0,22 та 0,215, відповідно (рис. 20.4). На четвертому та п'ятому місцях такі чинники вибору як ціна та колір продукту.

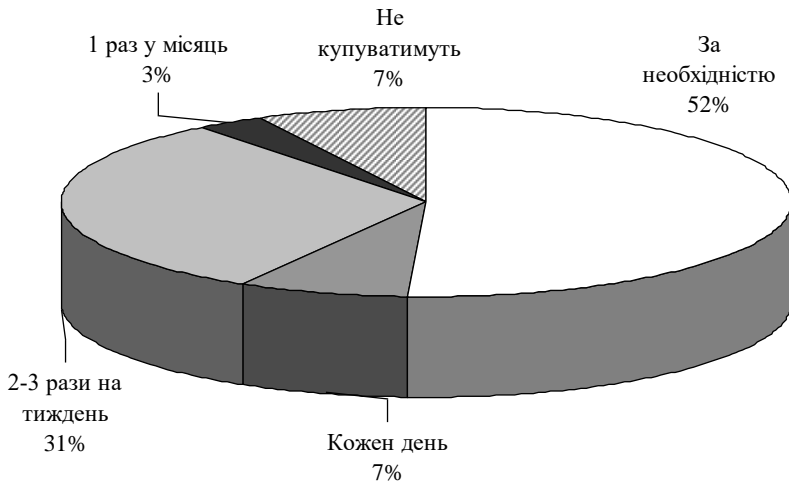


Рис. 20.3 Розподіл респондентів за готовністю купувати продукти з лікувально-профілактичними властивостями

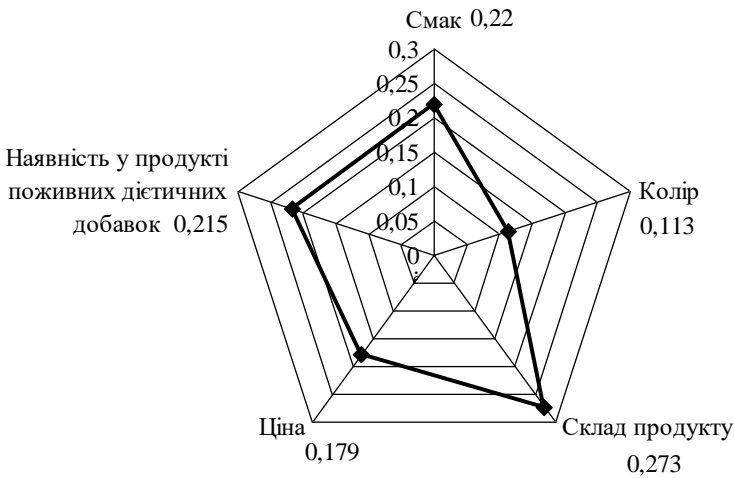
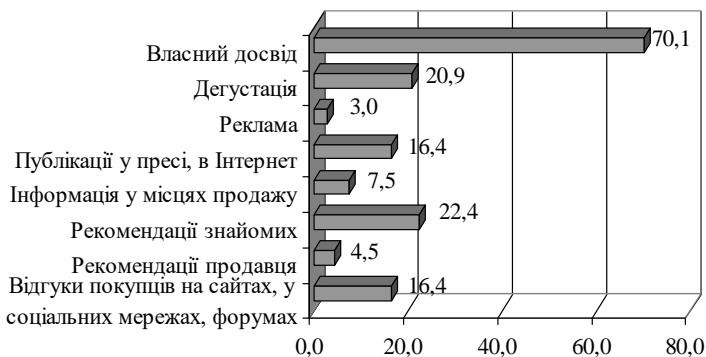


Рис. 20.4. Профіль важливості чинників споживчого вибору продуктів з лікувально-профілактичними властивостями

За таких умов виявлено низьку цінову чутливість потенційних споживачів, тому вирішальна роль у процесі прийняття рішення щодо купівлі належить неціновим чинникам, а саме чинникам, що характеризують споживчу цінність продукту. Тому одним із завданням маркетингової політики просування продуктів з лікувально-профілактичними властивостями є доведення до споживачів переваг та корисності пропонованих продуктів, їх споживчих властивостей.

Особливу роль у процесі формування маркетингової політики належить комунікаційній політиці, яка передбачає вибір каналів та засобів контактів із потенційними споживачами, які відіграють важливу інформаційно-комунікативну роль на етапі виведення товару на ринок і виконують інформативну та переконуючу функції. У зв'язку із цим респондентам було запропоновано відзначити джерела інформації щодо продуктів повноцінного харчування, яким вони довіряють. За результатами опитування встановлено, що більшість, а саме 70,1%, довірятимуть власному досвіду, більш 22% - рекомендаціям друзів, знайомих, ще майже 21% прийматимуть рішення під час дегустації (рис. 20.5).



**Рис. 20.5. Розподіл респондентів за рівнем довіри до джерел інформації щодо продуктів повноцінного харчування**

Із наведених даних слід відзначити необхідність формування високої лояльності споживачів до продуктів повноцінного харчування, потрібно забезпечувати при цьому високий рівень їх задоволеності, що

зумовлює підвищення вимог до якості, складу, поживних властивостей продуктів повноцінного харчування.

Слід відзначити низьку довіру респондентів традиційним засобам маркетингових комунікацій, таким як реклама, публікації, проте 16,4% довірятимуть відгукам покупців на сайтах, у соціальних мережах, форумах, тому перспективним та необхідним є використання інтернет-маркетингу, сучасних інформаційно-комунікаційних технологій під час формування маркетингової політики просування продуктів повноцінного харчування на ринок.

За результатами проведеного аналізу зроблені наступні важливі висновки:

- маркетингова політика просування ФПХ на ринок має бути спрямована на пропаганду здорового способу життя, роз'яснення необхідності забезпечення повноцінного харчування для збереження здоров'я; формування культури раціонального харчування й споживання при цьому ФПХ, що зумовлює дотримання концепції соціально-етичного маркетингу;

- важливим є інформування цільової аудиторії щодо ФПХ, який виводиться на ринок, та його споживчої цінності;

- маркетингові зусилля необхідно спрямовувати на формування та стимулювання попиту;

- під час розробки технології ФПХ необхідно урахувати важливість складу інгредієнтів та смакові властивості нового продукту, які є важливими чинниками споживчого вибору;

- необхідним є визначення цільових сегментів ринку та відповідних да кожного із інструментів маркетингу;

- ураховуючи особливості споживчої поведінки щодо довіри джерелам інформації під час купівлі продуктів із лікувально-профілактичними властивостями, доцільним є формування лояльності споживачів до ФПХ.

### 20.3. Інноваційні розробки функціональних продуктів харчування у ХДУХТ

Пріоритетним напрямом інноваційного розвитку технологій виробництва ФПХ у Харківському державному університеті харчування та торгівлі є збагачення традиційних кондитерських виробів дієтичними добавками.

Кондитерські вироби є улюбленими ласощами як дітей, так і дорослих. За оцінками експертів, кондитерські вироби займають 8,2% в



кошику споживання продуктів харчування середнього українця [9], отже має місце достатньо висока частота їх споживання, стабільний попит. Для його задоволення на ринку пропонується широкий асортимент різних видів кондитерських виробів, вибір яких залежить від стилю життя людини, смакових переваг, рівня доходу, приводу для купівлі та інших факторів. Ураховуючи сучасні тенденції до зростання прихильності до здорового образу життя, усе більше уваги споживачі приділяють корисності, складу продуктів, їх харчовій цінності. У зв'язку з цим виведення на ринок нових функціональних кондитерських виробів є доцільним та необхідним. Це сприяло активізації наукових досліджень, спрямованих на формування і розширення асортименту у напрямку підвищення харчової та біологічної цінності кондитерських виробів шляхом введення дієтичних добавок та біологічно-активних сполук, що містять мікро- та макроелементи, білки, вітаміни та інші корисні речовини [6].

Важливим завданням підприємств харчової промисловості є посилення конкурентоспроможності. На ринку кондитерських виробів представлено продукцію близько 850 підприємств. Вітчизняний ринок кондитерських виробів характеризується високим рівнем конкуренції і ступенем насиченості, тому лідируючу позицію займають виробники, які першими реагують на зміну споживчих вподобань, динамічно оновлюють асортимент продукції й насичують його новинками [14]. Одним із перспективних напрямів розширення асортименту солодощів є функціональні кондитерські вироби, які завдяки підвищеній споживчій цінності забезпечуватимуть конкурентні переваги підприємству, що їх вироблятиме.

Серед інноваційних технологій виробництва кондитерських ФПХ, що вже запроваджені у виробництво кондитерської фабрики «Солодкий світ» та представлені на ринку є «Фруктовий хліб» (рис. 20.6). Батончики «Фруктовий Хліб» – це натуральний продукт без цукру, виготовлений за технологією «холодного преса», що дозволяє зберегти в цілості всі вітаміни і мікроелементи натуральних фруктів. «Фруктовий хліб» містить вітаміни А, В2, В1, В5, В3, В6, С, РР, К, F, D, які є природними антиоксидантами, що сповільнюють старіння клітин. Батончики відповідають всім вимогам здорового харчування. Продукт містить клітковину, що запобігає розвитку діабету та інших захворювань, а також сприяє зниженню рівня холестерину в крові [19].

До запуску у масове виробництво готується продукт мармеладно-пастильної групи – фруктове желе, збагачене вітаміном С. Потреба у вітаміні С зростає узимку та на початку весни, він допомагає органі-

зму боротися з вірусами, зміцнює імунітет, а також допомагає крові згортатися, нормалізує проникність капілярів.



Рис. 20.6. Асортимент солодких батончиків «Фруктовий хліб»

Науковцями ХДУХТ завершується науково-дослідна робота щодо технології виробництва енергетичного батончика, до складу якого входять слані ламінарії та вакаме, що сприятиме його збагаченню йодом та селеном. У зв'язку із загостренням проблем йододефіциту у значної частки населення даний ФПХ буде актуальним для вітчизняних споживачів, основне призначення якого буде профілактика йодо-залежних захворювань.

Виходячи з даних Мінохоронздоров'я, одним із дефіцитних і разом із тим необхідних для життєдіяльності організму людини мікронутрієнтом є залізо, яке бере участь у формуванні гемоглобіну крові, а його дефіцит веде до розвитку важких захворювань – залізодефіцитних анемій. Це захворювання особливо поширене серед жіночого населення та дітей, тому можливість профілактики шляхом уведення в раціон

харчування населення кондитерських виробів, збагачених залізом у легкозасвоюваній для організму формі, є актуальним завданням [1, 4-5]. Тому важливим напрямом поліпшення споживних властивостей кондитерських виробів є цілеспрямоване збагачення їх вітамінами та мінеральними елементами, зокрема залізом, і надання виробам лікувально-профілактичних властивостей.

Досліджуючи проблему наявності продуктів, збагачених гемовим залізом, встановлено, що вітчизняні фармацевтичні підприємства випускають такий препарат як «Гематоген», схожий на цукерку «ірис», з додаванням чорного харчового альбуміну (висушеної гемолізованої крові великої рогатої худоби). Такий традиційний «гематоген» одержують шляхом перемішування при нагріванні до 125°C цукрового сиропу, згущеного молока і патоки до густої маси. Після охолодження її до 65-70°C перемішуючи додають чорний харчовий альбумін.

«Гематоген» традиційно призначали в якості лікувально-живильного препарату при малокрів'ї, в післяопераційний період, після інфекційних та інших захворювань. Проте, в практичній медицині відсутні експериментальні дані про лікувальний і профілактичний ефект «Гематоген», що, теоретично цілком зрозуміло, зумовлено надзвичайно малою засвоюваністю заліза, що надходить в організм в такій формі.

У зв'язку з цим останнім часом низка виробників намагаються підвищити ефективність даного препарату шляхом додаткового введення в його склад сульфату заліза в досить великих дозах (на упаковці, як правило, не зазначених). Замаскувати його гіркий присмак намагаються за допомогою горіхів, родзинок тощо. Додається при цьому аскорбінова кислота, яка покликана збільшити засвоюваність заліза.

Установлено, що з додаванням хімічного заліза, «Гематоген» набуває всі недоліки, властиві традиційним залізовміщуючим препаратам, а саме – численні побічні ефекти. Крім того, разове споживання 2-3 плиток просто небезпечно для здоров'я дітей через високу ймовірність отруєння великою кількістю заліза. Добре, що з'їсти небезпечну дозу такого «Гематогену» жодна дитина не зможе через його «хімічний» смак.

Для вирішення зазначених проблем науковцями ХДУХТ розроблено новий вид функціонального кондитерського виробу «Фруктового батончика з гемовим залізом».

## 20.4. Споживчі характеристики «Фруктового батончика з гемовим залізом»

Фруктовий батончик з гемовим залізом – смачний функціональний кондитерський виріб, масою 40 г (рис. 20.7); термін придатності готового продукту – 6 місяців. До його складу входять лише натуральні та корисні інгредієнти (фінік, вівсяні пластівці, родзинки, арахіс, кориця, мускатний горіх, ядро соняшнику, яблуко подрібнене, сік яблучний, дієтична добавка «Нутріо-Гем» (рис. 20.8), він не містить консервантів та штучних барвників. Дієтична добавка «Нутро-Гем» дає кооперативний ефект, тобто, сприяє додатковому засвоєнню заліза зі звичайної їжі.



Рис. 20.7. Функціональні кондитерські вироби із гемовим залізом

Фруктовий батончик з гемовим залізом – протианемічний препарат нового покоління і принципово іншим механізмом впливу на організм, ніж наявні на ринку продукти. У процесі виробництва використовується очищений від високо- і низькомолекулярних домішок гемоглобін має високу біологічну спорідненість до гемоглобіну людини; залізовмісних частина молекули - гем - абсолютно однакова у

тварин і людини, а білкова частина дуже схожа за складом. Це визначає їх високу фізіолого-біохімічну сумісність. На відміну чорного харчового альбуміну, клінічні випробування очищеного гемоглобіну показали повну відсутність алергічних реакцій, тоді як при споживанні звичайного «Гематоген» як у дорослих, так і у дітей, вони відзначаються. Крім того, абсолютно виключена передозування заліза, так як воно міститься в складі харчового білка, повсякденно споживаного людиною з продуктами харчування, і в разі надмірного споживання просто виводиться з організму.



**Рис. 20.8.** Дієтична добавка «Нутро-Гем»

Безперечними перевагами фруктового батончика з гемовим залізом над іншими протианемічними препаратами є наступні:

– до складу батончика входять лише натуральні продукти без ГМО;

– батончик містить залізо в гемовій двухвалентній формі ( $Fe^{2+}$  - не менше 6 мг). Залізо в такій самій формі, в якій воно входить до складу міоглобіну і гемоглобіну тіла людини, тобто залізо у батончику знаходиться в природній, біологічно легко доступній для організму формі. Більше 80% мікроелемента відразу направляється на синтез залізовмісних білків організму. Надходження заліза в організм відбувається за рахунок звичайних механізмів транспорту і засвоєння (в організмі людини є фізіолого-біохімічні механізми засвоєння екзогенного і реутилізацію ендogenous заліза), тому воно швидко всмоктується в шлунково-кишковому тракті людини;

– під час виробництва батончик не піддається термічній обробці, що зберігає білок гемоглобін (1,4 г) від руйнування. Увесь виробничий процес, включаючи формовку корпусу батончика, проводиться за температурою не вище 40°C. Це запобігає денатурації (руйнуванню) білка й окислення заліза в молекулі гемоглобіну, яке залишається в природній для організму формі;

– наявність гістидина – амінокислоти, що зв'язує залізо, сприяє додатковому засвоєнню заліза зі звичайною їжею (кооперативний ефект). Гемоглобін – це повноцінний білок, який містить всі незамінні амінокислоти, він має високу харчову цінність сам по собі. Крім того, він є унікальним за кількісним вмістом гістидину – амінокислоти, що сприяє засвоєнню з їжі того заліза, яке зазвичай не засвоюється або засвоюється вкрай низько (з рослинною їжею, водою тощо). Це дозволяє організму людини одержати додаткову кількість заліза зі звичайних продуктів харчування, що особливо важливо при малокрів'ї.

– батончик не має протипоказань, в тому числі до тривалого вживання. З огляду на те, що залізо, яке входить до його складу, знаходиться в природній для організму формі споживання батончика не викликає побічних або алергічних ефектів.

Проведені випробування й результати опитування, в якому взяли участь більше 300 осіб, серед яких у тому числі військовослужбовці та працівники органів внутрішніх справ Україні, свідчать про корисні функціональні властивості нового виробу, їх позитивне сприйняття потенційними споживачами (рис. 20.9).



Рис. 20.9. Оцінки респондентів фруктового батончика з гемовим залізом

Приємний запах та колір відзначили більше 80% опитаних, ураховуючи специфічний склад продукту, смак позитивно оцінили 46,4%. Про досягнення високого функціонального ефекту споживання фруктового батончика з гемовим залізом свідчить те що, 60,7% опитаних відзначили швидке виникнення почуття насичення та 78,6% унаслідок споживання відчували бадьорість, прилив сил, підвищення працездатності. Саме про ці аспекти дії, впливу споживання фруктового батончика з гемовим залізом на організм людини необхідно інформувати потенційних споживачів.

Виходячи із класифікації товарних інновацій, «Фруктовий батончик з гемовим залізом» можна охарактеризувати як товар із принциповою зміною споживацьких властивостей, що сприятиме зміні в способі задоволення відповідної потреби (рис. 20.10). Для забезпечення успіху «Фруктового батончика з гемовим залізом» на ринку необхідно правильно обрати маркетингові інструменти, спрямовані на формування попиту та стимулювання збуту.

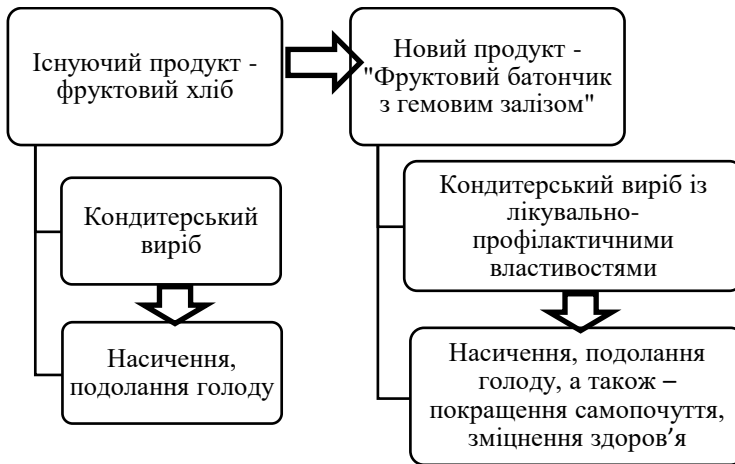


Рис. 20.10. Споживчі відмінності «Фруктового батончика з гемовим залізом» від традиційного продукту

## 20.5. Маркетингові інструменти просування «Фруктового батончика з гемовим залізом»

Фахівцями у сфері розробки технологій ФПХ відзначається, що серйозним бар'єром на шляху зміцнення позицій інноваційних функціональних харчових продуктів та збільшення попиту на них, як на засоби збереження здоров'я і зниження ризику виникнення захворювань, є насторожене ставлення до них з боку населення [24]. Це зумовлює необхідність формування маркетингової політики просування ФПХ на ринок, що передбачає вибір відповідних інструментів маркетингу.

Виходячи із того, що пропонується «Фруктовий батончик з гемовим залізом» має відмінні споживчі властивості від традиційного продукту, які полягають у покращених споживчих властивостях, маркетингова політика просування його на ринку має бути спрямована на формування унікальної споживчої цінності та фокусуванні на життєвих цінностях споживачів, у даному випадку – збереження та зміцнення здоров'я. При цьому потенційним споживачам важливо донести необхідність посилення функціональності харчування. Тобто продукти, які вживає людина щодня, повинні не тільки приносити задоволення і забезпечувати організм поживними речовинами, а й виконувати профілактичні функції: знижувати ризик розвитку різних захворювань, захищати від несприятливих умов навколишнього середовища, зменшувати вплив неправильного способу життя [22].

Маркетингова політика має особливості на різних стадіях розвитку ринку. Фруктовий батончик з гемовим залізом є функціональним продуктом харчування, ринок яких лише тільки формується, тобто є емерджентним, тому особливості маркетингової політики полягають у наступному [17]:

- потреби необхідно формувати;
- за охопленням ринку використовується концентрований маркетинг;
- важливим є визначення цільової аудиторії, її специфічних потреб;
- принципом вибору маркетингових інструментів є ексклюзивність;
- принципом формування інструментів комплексу маркетингу є інноваційність.

Маркетингова політика визначає тактику маркетингової діяльності підприємства на визначеному товарному ринку за певних зовнішніх та внутрішніх умов і реалізується вона через комплекс маркетин-



гових інструментів, традиційна комбінація яких складається з товарної, цінової, збутової, комунікаційної політик (4 «Р»).

Як справедливо відзначає О. Афанасьєва першоосновою формування маркетингової діяльності є потреби та переваги споживачів, відповідно до яких має плануватися виробництво товарів певної якості, у певній кількості, встановлюватися ціна на них, обиратися канали збуту, визначатися методи інтенсифікації зусиль з їх просування [2]. Але у випадку із фруктовим батончиком з гемовим залізом є товар, що вже виводиться на ринок, але не сформована потреба. Тому для цього необхідно вирішити триєдине завдання, починаючи від пропаганди здорового способу життя і роз'яснення ролі продуктів харчування до інформування споживачів щодо пропонованого продукту, ознайомлення їх із його функціональними властивостями (рис. 20.11).



**Рис. 20.11. Завдання щодо формування попиту на «Фруктовий батончик з гемовим залізом»**

Формування культури здорового способу життя зумовлює необхідність активної просвітницької роботи серед населення, особливо молоді, щодо принципів та ролі здорового харчування, а також щодо споживчих властивостей продуктів функціонального харчування, як необхідної компоненти повноцінного харчування. Така робота проводиться із використанням інструментів соціальної реклами, пропаганди, особливе значення при цьому мають державні та місцеві засоби масової інформації.

Просування фруктового батончика з гемовим залізом потребує формування маркетингової політики. При цьому необхідним є визначення цільової аудиторії, тобто груп споживачів, які проявлятимуть інтерес до продукту та купуватимуть його для задоволення своїх пот-

реб. Ураховуючи специфічні функціональні властивості «Фруктового батончика з гемовим залізом», визначено пріоритетні групи потенційних споживачів та потреби, які вони задовольнятимуть (рис. 20.12).

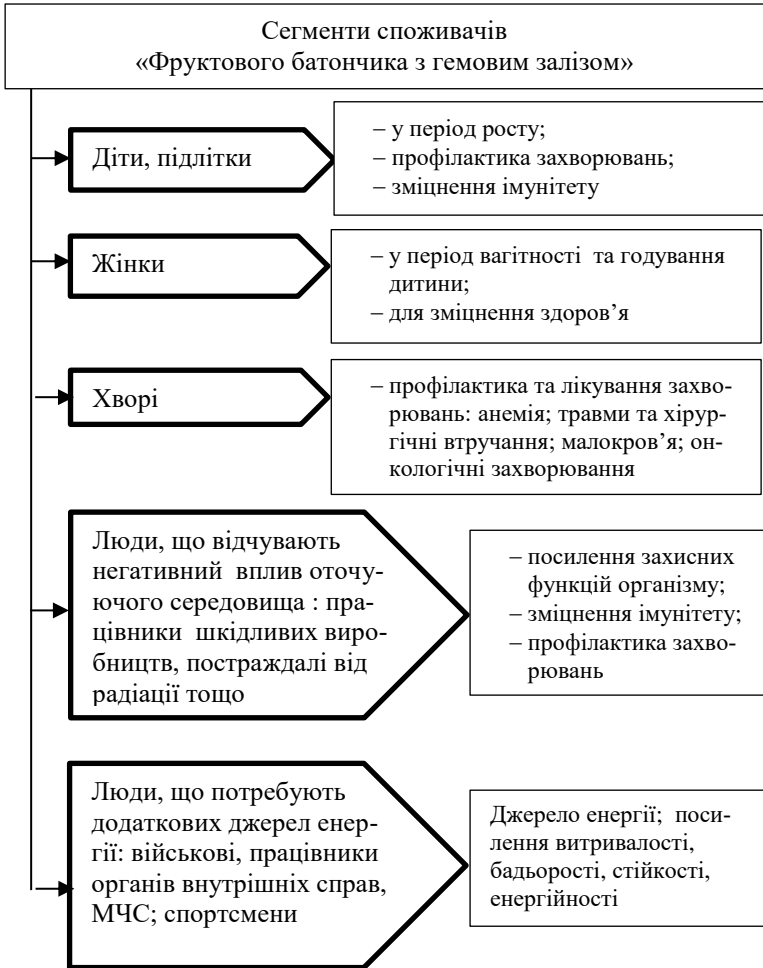


Рис. 20.12. Цільові сегменти споживачів «Фруктового батончика з гемовим залізом»

Кожен із зазначених сегментів відрізняється за демографічними характеристиками (статтю, віком), а також психографічними і поведінковими ознаками, що зумовлює використання різних маркетингових інструментів впливу на споживачів.

У кожному із зазначених сегментів різні мотиви споживання, які необхідно враховувати під час визначення факторів стимулювання попиту. Наприклад, для батьків, що купуватимуть «Фруктовий батончик з гемовим залізом», додатковим стимулом купівлі будуть унікальні властивості, що забезпечуватимуть ефект у вигляді зміцнення здоров'я. Для вагітних жінок – головне гасло: «Надійний захист від залізодефіцитної анемії для Вас та вашої дитини!». Гасло, що характеризує користь для хворих: «Кожен день батончик фруктовий – організм здоровий!». Тобто для кожної цільової аудиторії повинен обиратися свій особливий стимул, який характеризує задоволення їх специфічної потреби.

Відмінності зазначених цільових сегментів зумовлюють вибір відповідних каналів збуту та інструментів просування, що є одним із найбільш важливих завдань формування маркетингової політики просування на ринок «Фруктового батончика з гемовим залізом» (табл. 20.2).

Для кожного із зазначених сегментів необхідно застосовувати відповідні інструменти просування, серед яких відзначені соціальна реклама, пропаганда, безкоштовні зразки, презентації у місцях продажу, дегустації, промоакції, internet-реклама, персональний продаж. В окремих випадках запропоновано однакові інструменти просування на різних сегментах, проте інформаційне їх наповнення (тексти, зображення, графіка) повинно розроблятися для кожного сегменту окремо, враховуючи специфіку цільової аудиторії. Особливої уваги під час виведення «Фруктового батончика з гемовим залізом» на масовий ринок потребують такі засоби просування як презентації у місцях продажу та дегустації, які необхідні для інформування потенційних покупців та ознайомлення їх із продуктом, викликання початкового інтересу. Крім того, у контексті просування ФПХ на ринок Мардар М. серед перспективних джерел інформації виділяє різні форми адресної реклами; лекції, проведені в організованих колективах по місцях навчання і роботи; інтернет, тому що більшу частину його користувачів становлять молоді люди, для яких профілактика з використанням ФПХ є найбільш ефективною та доступною [10].

Таблиця 20.2

**Канали збуту та інструменти просування «Фруктового батончика з гемовим залізом»**

<b>Цільовий сегмент</b>	<b>Канал збуту</b>	<b>Інструменти просування</b>
Діти, підлітки	Роздрібна мережа; Заклади освіти; Дитячий садок; Дитячі медичні заклади	Соціальна реклама, про-паганда, безкоштовні зразки
Жінки	Роздрібна мережа; Фірмова мережа; Медичні заклади; Салони краси;	Презентації у місцях продажу, дегустації, промоакції, Internet-реклама, персональний продаж
Хворі	Медичні заклади, Аптеки	Інформаційні листівки, безкоштовні зразки, персональний продаж
Люди, що відчувають негативний вплив оточуючого середовища	Роздрібна мережа; Медичні заклади; Аптеки	Інформаційні листівки, безкоштовні зразки, Internet-реклама, персональний продаж
Люди, що потребують додаткових джерел енергії: військові, працівники органів внутрішніх справ, МЧС	Державні органи	Інформаційні листівки, безкоштовні зразки

У цілому в процесі маркетингової діяльності під час виведення на ринок нових продуктів виникають складні та багатоаспектні завдання. Сучасний споживач стає дедалі вимогливішим до товарів і послуг; обачнішим під час їх вибору, який забезпечений різноманітністю альтернатив; раціональнішим в умовах зниження платоспроможного попиту. У цих умовах для ефективного просування товарів і послуг потрібні нові, нестандартні підходи й до маркетингової діяльності [7]. В умовах розвитку інформаційно-комунікативних технологій більшість із них пов'язані із інтернет-маркетингом.

Дійсно розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та розширення інтернет-аудиторії значно підвищують важливість засобів інтерне-маркетингу для просування фруктового батончика з гемовим залізом. У цьому контексті особливої уваги потребують сайт виробника, на якому необхідно надати розширену інформацію щодо продукту як для кінцевих споживачів, так й для посередників, які зацікавлені його просуванням. Серед інструментів інтернет-маркетингу [12] для просування фруктового батончика з гемовим залізом вважаємо:

– контекстна реклама – принцип розміщення реклами, коли реклама орієнтується на зміст Інтернет-сторінки вручну або автоматично, що зумовлює звернення виключно до цільової аудиторії. Контекстна реклама може бути у вигляді текстових блоків, графічних банерів та відеороликів, може розміщуватися як на сторінках результатів пошуку, так і на сайтах, що встановили блоки контекстної реклами на своїх сторінках;

– крос-брендінг (ко-брендінг) – представляє об'єднання двох брендів з метою підвищення продажів кожного з них, підвищення пізнаваності серед аудиторії іншого бренду, та за рахунок цього – розширення власної аудиторії. Для кросс-брендінгу потенційними партнерами щодо просування фруктового батончика з гемовим залізом є сучасні медичні клініки, салони краси, фітнес-клуби, спортивні заклади, заклади освіти, фірмові магазини кондитерських виробів, заклади ресторанного господарства та ін.;

– афілійований маркетинг – мережі, побудовані за принципом афілійованого маркетингу, виплачують партнерам винагороди за залучення нових клієнтів, реєстрацію користувачів або продажі, що відбулися завдяки цьому залученню. Ця форма Інтернет-маркетингу перегукується з іншими, її основною метою є приваблення нової аудиторії завдяки вже існуючій. Перспективність даного інструменту інтернет-маркетингу для просування фруктового батончика з гемовим залізом зумовлена виявленою високою довірою потенційних споживачів до відгуків та рекомендацій;

– SMM (social media marketing – просування в соціальних мережах) та SMO (social media optimization – оптимізація сайту під соціальні мережі) – включає створення своєї тематичної групи та її подальше просування; залучення нових учасників до групи; інформування учасників про події компанії; підтримка інтересу до групи через розміщення контенту, запрошення до різних подій учасників мережі та інше. Для кожної визначеної цільової аудиторії потрібно створювати окремі сторінки у соціальних мережах та наповнювати їх контентом відповід-

но до специфічних потреб, які задовольнятимуться під час споживання фруктового батончика з гемовим залізом;

– блогінг, що передбачає створення блогу – це різновид динамічного тематичного сайту, на якому відбувається спілкування людей у вигляді обговорення тих чи інших питань, які підіймає автор блогу або ж його відвідувачі. Саме блогінг надає можливість створити віртуальну спільноту з визначеної тематики, що є важливим з точки зору визначених цільових аудиторій. Унікальний, цікавий контент, який розміщено на блозі, здатний залучити досить велику аудиторію і створити його автору репутацію фахівця в тій чи іншій галузі, що є важливим для просування фруктового батончика з гемовим залізом. Залучення компетентних фахівців (медичних працівників, фармацевтів, тренерів та відомих спортсменів, дієтологів, науковців та ін.), їх поради щодо корисності та доцільності вживання фруктового батончика з гемовим залізом будуть важливими для потенційних споживачів. Завдяки ефективному та активному блогінгу можливим буде сформувавши аудиторію лояльних покупців і збільшувати аудиторію потенційних клієнтів;

– вірусний маркетинг – поширення інформації в прогресії, близької до геометричної, де головним розповсюджувачем інформації є самі одержувачі інформації, шляхом формування змісту, здатного залучити нових одержувачів інформації за рахунок яскравої, творчої, незвичайної ідеї або з використанням природного або довірчого послання. Ефективність методу пов'язана із можливостями швидкого розповсюдження контенту в соціальних мережах за допомогою таких функцій як «поділитися» (share) або «мені подобається» (like). Причому суспільство сприймає це як розвагу, а не як рекламу, тому активно залучається до процесу поширення інформації.

Доцільним вважаємо формування та розповсюдження унікальної торгової пропозиції для інтернет-магазинів, що спеціалізуються на продажу кондитерських виробів, продуктів дієтичного та/або здорового харчування, біопродуктів, товарів для здоров'я тощо, як перспективних партнерів та каналів збуту фруктового батончика з гемовим залізом.

Для швидкого освоєння ринку та збільшення обсягів продажу ««Фруктового батончика з гемовим залізом»» необхідно спрямувати зусилля на:

– формування культури раціонального харчування серед різних верств населення, особливо серед дітей, підлітків, молоді, та підвищення освіченості населення в питаннях здорового харчування;

- гарантування високої якості та особливо безпечності даного продукту;
- мотивування партнерів, їх активне залучення для просування продукту на ринок;
- формування позитивного іміджу продукту та бренду;
- доведення до потенційних споживачів харчової цінності продукту, його унікальних конкурентних переваг;
- забезпечення оптимального співвідношення ціна/якість продукту.

### Висновки

Розвиток ринку продуктів із лікувально-профілактичними властивостями є актуальною проблемою в Україні, тому функціональні продукти харчування – важливий напрямок харчових технологій, який набуває все більшої важливості в умовах дераціоналізації харчування та зниження продовольчої безпеки в Україні під впливом погіршення соціально-економічної ситуації. Включення в раціон харчування функціональних продуктів нового покоління дасть можливість підвищити забезпеченість потреб людини в корисних харчових речовинах та важливих функціональних компонентах, забезпечити профілактику різних захворювань, зміцнити захисні функції організму і здоров'я у цілому. Тому впровадження інноваційних технологій виробництва функціональних продуктів харчування (ФПХ) є важливим соціально-економічним завданням та пріоритетним напрямом розвитку підприємств харчової промисловості.

До числа об'єктивних причин успішності розвитку даного напрямку слід віднести наявність великого науково-технічного та виробничого потенціалу: існує ряд наукових і промислових організацій, вищих навчальних закладів, які розвивають наукові, теоретичні та практичні аспекти технологій виробництва ФПХ, їх впровадження у виробництво. Даний напрям активно освоюється науковцями ХДУХТ, якими до практичного рівня впровадження доведені технології виробництва ФПХ, збагачених вітаміном С; ФПХ, що містять слані ламінарії та вакаме; ФПХ із гемовим залізом.

Пропонований «Фруктовий батончик з гемовим залізом» порівняно із конкурентами має кращі споживчі характеристики та харчові властивості, які забезпечують йому унікальні конкурентні переваги. Його лікувально-профілактичні властивості полягають у протианемічній дії, яка заснована на принципово новому механізмі впливу на організм. До складу продукту входять лише натуральні компоненти та

очищений гемоглобін у вигляді дієтичної добавки «Нутро-Гем». Включення до продукту гістидина – амінокислоти, що зв'язує залізо, сприяє до того ж додатковому засвоєнню заліза зі звичайної їжі. Унікальність технології виробництва полягає у тому, що продукт не піддається термічній обробці, що зумовлює збереження білка гемоглобіна від руйнування.

На етапі виведення нового ФПХ на ринок необхідно спрямувати маркетингові зусилля на формування культури здорового способу життя, стимулювання попиту на продукти з лікувально-профілактичними властивостями, а вже потім – на формування попиту на «Фруктовий батончик з гемовим залізом». Для обґрунтованого вибору маркетингових інструментів впливу на споживачів здійснено сегментацію ринку та визначено цільові сегменти споживачів «Фруктового батончика з гемовим залізом», які відрізняються за потребами та мотивами споживання ними даного продукту. Відповідно до визначених сегментів рекомендовано канали збуту та інструменти просування «Фруктового батончика з гемовим залізом» на ринок. Відзначено необхідність використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема інтернет-маркетингу: контекстної реклами, крос-брендінгу, афілійованого маркетингу, SMM-маркетингу та SEO, блогінгу, вірусного маркетингу, удосконалення сайту виробника та сторінки продукту. Для підвищення довіри до продукту необхідним є залучення фахівців, які повинні інформувати споживачів щодо споживчих та лікувально-профілактичних властивостей «Фруктового батончика з гемовим залізом», сприяти його просуванню.

Отже, особливу роль у процесі виведення нових ФПХ на ринок відіграє маркетинг. Його завдання полягає у формуванні, усвідомленні, вираженні і задоволенні потреб в раціональному харчуванні й забезпечення на цій основі зміцнення здоров'я і зростання соціального благополуччя споживачів. Реалізація маркетингової політики спрямована на просування нових ФПХ на ринок і забезпечення фізичної доступності всіх верств населення до високоякісних і безпечних, біологічно повноцінних харчових продуктів із лікувально-профілактичними властивостями.

### Список використаних джерел

1. Акмен В.В. *Формування споживчих властивостей дієтичних добавок з гемовим залізом для кондитерських виробів: дис... канд. техн. наук : 05.18.15/ В. В. Акмен; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2013.*



2. Афанасьєва О.П. Маркетингова політика підприємств на ринку м'яса та м'ясопродуктів/ дис... канд. екон. наук: 08.00.04 / О.П. Афанасьєва; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2016. – 312 с.
3. Дорохович А.М. Продукти харчування функціонального призначення/ А.М.Дорохович, В.І. Оболкіна, В.В.Дорохович, О.О. Гавва/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jsru/bitstream/123456789/2875/1/dvvpfhp.pdf>
4. Євлаш В. В. Наукові аспекти формування якості дієтичних добавок, що містять гемове залізо, та кондитерських виробів із їх використанням [Електронний ресурс]: монографія / В. В. Євлаш, В. О. Акмен. – Х. : ХДУХТ, 2015.
5. Євлаш В. В. Формування асортименту та якості фруктово-ягідних начинок, збагачених гемовим залізом, для борошняних кондитерських виробів / В. В. Євлаш, М. І. Погожих, В. О. Акмен // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. - 2011. - Вип. 2. - С. 220-227.
6. Євлаш В. В. Визначення раціональних режимів тиражування солодких плиток (типу ірис), збагачених гемовим залізом, на основі дослідження їх структурно-механічних властивостей / В. В. Євлаш, М. І. Погожих, В. О. Акмен, М. Т. Малафєв // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. - 2011. - Вип. 1. - С. 295-303.
7. Жегус Е.В. Роль розничної торгівлі в підвищенні рівня життя населення и обеспеченні продовольственной безопасности/ Проблемы рынка труда и формирования трудовых ресурсов// Сборник научных статей III международной научно-практической конференции, г. Москва, 14 декабря 2012 г. / Редкол.: М.М. Медвидь, В.А.Назаров, А.К. Сокоиков. – М. : Институт деловой карьеры, 2012. – С. 38-47
8. Жегус О.В. Маркетингові інновації як необхідна умова розвитку підприємства/ Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг : зб. наук. пр. / [редкол. : О. І. Червко (відпов. ред.) та ін.]. – Харків : ХДУХТ, 2015. – Вип. 2 (22), С. 227-238
9. Кроніковський Д. О. Тенденції кондитерської промисловості України/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=3460>
10. Мардар М. Р. Формування споживчих переваг до функціональних продуктів харчування на основі маркетингових досліджень [Електронний ресурс] / М. Р. Мардар // Економіка харчової промисловості. - 2015. - № 1. - С. 19-25
11. Михайлов В.М. Маркетингові дослідження щодо підвищення ефективності просування на вітчизняний ринок нових функціональних продуктів / В. М. Михайлов, М. М. Чуйко, А. М. Чуйко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. - 2014. - Вип. 1. - С. 7-15

12. Мозгова Г. В. Інструменти інтернет-маркетингу та їх переваги для сучасних українських підприємств/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2429>

13. Моргун В. О. Розширення промислового виробництва продуктів функціонального харчування / В. О. Моргун, Н. З. Москвіна // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. - 2009. - Вип. 36(1). - С. 52-54.

14. Новойтенко І. Характеристика ринку кондитерських виробів в Україні/[Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/18551/1/85.pdf>

15. Про безпечність та якість харчових продуктів [Електронний ресурс] : Закон України № 771/97 від 23.12.1997 р. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/771/97-вр>.

16. Про основи продовольчої безпеки України/ [Електронний ресурс] : Проект Закону України. – Режим доступу : [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/JF6GI01A.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JF6GI01A.html)

17. Савицька Н. Л. Теоретико-методичні аспекти формування маркетингової політики підприємств на ринку м'яса та м'ясопродуктів[Електронний ресурс] / Н. Л. Савицька, О. П. Афанасьєва // Проблеми економіки. - 2015. - № 2. - С. 172-178.

18. Сирохман І.В. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення: навч. посібн./ І.В. Сирохман, В.М. Завгородня. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 544 с.

19. Сладкий мир/ Кондитерская фабрика/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.sladkiymir.com.ua/index.php?id=46>.

20. Споживання продуктів харчування в домогосподарствах/[Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2007/gdvdg\\_rik/dvdg\\_u/spojiv2010\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2007/gdvdg_rik/dvdg_u/spojiv2010_u.htm)

21. Тележенко Л.М. Моделирование рационального харчування/ Л.М. Тележенко, Н.А. Кушнір, М.Н. Тодорова/ Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць: в 2 ч. Ч.2 / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі; [редкол.: О.І. Черевко (відпов. ред.) та ін.]. Харків, 2014. — Вип. 1 (19). С. 107-116.

22. Функціональне харчування. Що це?/[Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ol-te.com/funkcionalne-harchuvannya-shho-ce>

23. Харчова цінність продовольчих товарів: поняття, властивості і показники їх характеризують/[Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://um.co.ua/1/1-2/1-27408.html>

24. Чуйко А.М., Чуйко М.М. Проблеми і перспективи просування на ринок інноваційних функціональних продуктів харчування/[Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://repo.uira.edu.ua/jspui/handle/123456789/5132>.

**Наукове видання**

**ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ:**  
*інноваційні аспекти технологій,  
енергоефективного виробництва,  
зберігання та маркетингу*

Колективна монографія

*За редакцією*

проф. В.В. Євлаш  
проф. В.О. Потапова  
проф. М.І.Радченко  
проф. Н.Л. Савицької

Керівник виданичого проекту  
Новікова Олена Володимирівна

Комп'ютерне верстання та обложка  
доц. Губський Сергій Михайлович

Формат 70/100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсет. Печать офсетная. Гарнитура  
Times New Roman. Условн. Печ. листов –  
Тираж 300 шт.

Видавництво «Світ Книг»  
Свідоцтво № ДК 4088 от 06.06.2011 р.  
62370, Харківська обл., Дергачівський р-н, Солоніцевка,  
вул. Незалежності, 1, к.163  
тел/факс (057) 784-10-28  
<http://svitknig.com.ua>