



*International periodic scientific journal*

—*ONLINE*

*www.moderntechno.de*

Indexed in  
**INDEXCOPERNICUS**  
(ICV: 95.33)

# **M**ODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und  
innovative Technologien

**Issue №20**

**Part 1**

**April 2022**

*Published by:*  
**Sergeieva&Co**  
**Karlsruhe, Germany**

**Editor:** Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*  
**Scientific Secretary:** Kuprienko Sergey, *PhD in technical sciences*

**Editorial board:** More than 250 doctors of science. Full list on page:  
<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/about/editorialTeam>

**Expert-Peer Review Board of the journal:** Full list on page:  
<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "**Modern Technology and Innovative Technologies**" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: Quarterly

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in IndexCopernicus, GoogleScholar.

**UDC 08**

**LBC 94**

**DOI: 10.30890/2567-5273.2022-209-01**

**Published by:**

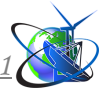
**Sergeieva&Co**

*Lußstr. 13*

*76227 Karlsruhe, Germany*

e-mail: [editor@moderntechno.de](mailto:editor@moderntechno.de)

site: [www.moderntechno.de](http://www.moderntechno.de)



УДК 62-7

**INNOVATIVE ENGINEERING SOLUTION IN HOTEL AND RESTAURANT INDUSTRY****Savchenko-Pererva M.Yu./Савченко-Перерва М.Ю.***cts, as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8498-3272

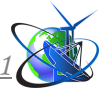
*Сумський національний аграрний університет, Суми, Г. Кондратьєва 160, 4000**Sumy National Agrarian University, Sumy, G.Kondratieva 160, 4000*

**Annotation.** *The paper considers an innovative engineering solution for the introduction of automated robotics in hotel and restaurant premises. This is explained by the need to quickly respond and adapt to changing consumer behavior. Generation Y prefers to get impressions rather than spend time on everyday worries. The older audience is more passionate about professional growth and seeks to save time on cooking. The paper describes the introduction of unmanned vehicles for food delivery - one of the most striking technotrends in the restaurant industry. The article confirms the introduction of "flexible" automation processes.*

**Keywords:** *engineering solution, robotics, hotel and restaurant industry.*

**Introduction.**

The hotel and restaurant industry is one of the most adaptive in the world. This is due to the need to quickly respond and adapt to changing consumer behavior, because without the rapid integration of innovative solutions, the hotel and restaurant business immediately begins to experience difficulties. That is why in this industry there are a huge number of combinations for creating a guest experience, including variable food serving, and creating a unique experience, such as a dinner at a height, and service by robotic waiters [1,2]. And to kick-start the guest's ability to solve problems (a skill specifically stimulated as part of guest experience design), restaurants are adopting technology to go about their daily routine, such as using interactive menus, order on the table top or mobile applications for ordering or creating a customized product for the guest. Everything related to innovation refers to the so-called industry 4.0 - and this is the replacement of human labor by machines - robots, artificial intelligence, etc. [3]. Many "regular" technologies, in a sense, have become a must-have for a restaurant, and their cost is so adequate and meets investment goals that it makes sense to implement them now so as not to be outsiders due to unjustified savings on automation. You can determine which technologies will be further developed by looking at how the market has changed over the past year. Firstly, the focus on the needs of the guest when visiting the restaurant has shifted, they have become more utilitarian, on the one hand, and aimed at memorable entertainment, on the other. At the audience presented by generation Y, completely different values, these people prefer to get experiences rather than spend time on everyday worries. The older audience is more passionate about professional growth and seeks to save time on cooking. These changes, in addition to the pandemic, have become drivers in the development of ready-made food delivery, and restaurants have the opportunity to create complex experiences that form a truly grandiose restaurant experience. In turn, the need for ready-made food for every day dictates the need to achieve a cost commensurate with the cost of self-preparation of food [4,5]. These



changes, in addition to the pandemic, have become drivers in the development of ready-made food delivery, and restaurants have the opportunity to create complex experiences that form a truly grandiose restaurant experience. In turn, the need for ready-made food for every day dictates the need to achieve a cost commensurate with the cost of self-preparation of food [4,5]. These changes, in addition to the pandemic, have become drivers in the development of ready-made food delivery, and restaurants have the opportunity to create complex experiences that form a truly grandiose restaurant experience. In turn, the need for ready-made food for every day dictates the need to achieve a cost commensurate with the cost of self-preparation of food [4,5].

So the introduction of unmanned vehicles for food delivery is one of the most striking technotrends in the restaurant industry, which attracts the most attention. This technology can solve the problems of both operators and customers as it aims to reduce labor costs. The use of drones for food delivery, including to hotels, promises to significantly reduce the waiting time for customers. Drones are expected to be able to make about 15 deliveries per hour, compared to three per hour by car, and as a result, restaurants will potentially be able to increase their revenue from higher sales volumes. In the world market, drones for food delivery are being tested by Yandex, and Google, Amazon and Uber. While robotic and drone delivery technologies are promising,

#### **Main text.**

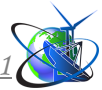
The world is moving into the era of robotics and automation. As more attention is paid to reducing human involvement in everyday tasks, improved robot control algorithms are vital for a wide range of applications. Recently, a growing trend is the use of robots in the catering industry as waiters, as shown by Chen et al. [7]. They usually use programmable logic controllers used by Lama [8], which are not optimized for a dynamic environment such as a restaurant.

The introduction of an innovative range of IT was successfully carried out by fast fine dining restaurants - Souvla in San Francisco (Greek cuisine) and Pizzeria 18|89 in Stockholm. Pizzeria 18|89 looks like a premium pizza concept, but behind the facade is a laboratory for the world's largest restaurant guest experience design firm. Just as Amazon Go's "Just walk out" technology tracks customers throughout the store, 18|89 uses the power of the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI) to unlock the power of the company's innovation potential. Thus, restaurateurs working in the fast fine concept are trying to build a new, economically sustainable business model for working with high-quality food products [9].

Automatic systems that can cook and serve are no longer science fiction, from robots that flip burgers to android waiters.

Feeding an ever-growing world population with changing dietary needs and preferences is becoming one of the leading global social issues. Producing enough food is no longer the only problem, the rapid rise of allergies and intolerances, and special diets due to non-communicable diseases such as diabetes, heart and kidney disease, have exacerbated the problem as manufacturers strive to satisfy all customers. In addition, the globalization of food production has led to an increase in demand for a variety of cuisines and products [10].

As the list of consumer requirements, as well as environmental and regulatory



changes, continues to grow, one of the key solutions to overcome these changes is the widespread adoption of "agile" automation processes. This is confirmed by the beginning of Industry 4.0, which promises growth through the Internet of Things (IoT) [3], which is largely supported by the use of artificial intelligence and industrial robots (IR) in all production systems [11].

Now robots have limited functionality. A person needs to create a robot with plates, from which visitors themselves remove ready-made food in plates (it is more like a runner than a full-fledged waiter). At Zume, a US pizza delivery company powered by robots, the toughest jobs, like making pizza, are still done by humans. But Moley, which will be launched later in 2019, offers an idea of the sophistication of the future. Modeled after the movements of Masterchef 2011 winner Tim Anderson, his robotic arms are mounted above the stove and programmed to cook with raw ingredients. It is designed for home use, but a commercial version is planned, which, like Suzumo's sushi works or Foodini's 3D printer, opens up the possibility of hotel/restaurant or restaurant kitchens,

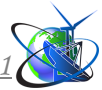
One of the other most serious obstacles is the lack of qualified developers and operators [12]. IR systems in the food industry. This is exacerbated by the fact that food workers are not aware of the benefits of IR or its applicability, and IR developers do not fully understand the specific characteristics of food products and their production requirements [13]. The aforementioned problems associated with the handling and processing of natural foods indicate that an innovative method is needed to identify and select the appropriate IR for specific food applications. While food processing involves very complex operations that are typically custom-made and automated, food processing can be simplified and generalized.

In addition to social and consumer problems in the hotel and restaurant industry, there are also problems of energy conservation when using engineering technologies. The introduction of energy-saving technologies will help reduce energy consumption and increase production productivity, improve the quality of manufactured products, and significantly improve the sanitary and hygienic condition of the hotel and restaurant industry.

One example of such an engineering solution is the ventilation system with a heat exchanger installed in the "Nur" Restaurant (Kyrgyzstan).

*" This device heats the supply air with extract air and as a result saves up to 50% of electrical energy. And VRF - air conditioning system due to the heat pump increases energy savings by 4-5 times in relation to other types of heating. Unfortunately, today not all owners of cafes and restaurants understand the benefits of investing in the installation of ventilation systems; funds are primarily spent on the appearance of the building. And when it comes to engineering systems, they start saving. In the city of Bishkek, less than 10% of restaurant business owners have modern ventilation systems. But every year business understands more and more the need to use "smart" technologies, for which the future", - Evgeny Zabelin, head of the Dantex company, shares.*

It is commendable that despite the economic crisis, quarantine restrictions, lack of own funds, entrepreneurs are committed to the main task of providing safe, comfortable conditions for their visitors.



The successfully implemented energy-saving project will allow the owners of the “Nur” restaurant to save 138 MWh annually, as well as contribute to the preservation of the environment by reducing the amount of harmful emissions into the atmosphere in the amount of 21 tons per year.

### Conclusions.

Ways to improve the quality of service for the population in the hotel and restaurant industry in different countries of the world were considered.

A rational justification for the introduction of automated robotics and other types of engineering equipment into the restaurant business network was obtained.

### Literature:

1. Nayik, G.A. (2015). Robotics and food technology: A mini review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5(4), <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000384>.
2. Rachana, K., Polson, R. & Saraswathy, K. (2017). Robotics and automation in meat processing. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 7(9), Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/d682/6ea59db46a98d335ee14359a17e414b495f2.pdf>.
3. Alcacer, V. & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>.
4. Caldwell, DG (2013). Robotics and automation in the food industry. In S. Whitworth (Ed.). *Robotics and automation in the food industry* (1st ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857095763.2.267>.
5. Sasongko, PS, Wibawa, HA, Maulana, F. & Bahtiar, N. “Performance Comparison of Artificial Neural Network Models for Dengue Fever Disease Detection,” pp. 183–188, 2017.
6. Chandra, A. & Suaib, M. “WEB S PAM C LASSIFICATION USING S UPERVISED,” vol. 2, no. 1, pp. 21–30, 2015.
7. Chen, C., Gao, Q., Song, Z., Liping, O. & Wu, X. “Catering service robot,” *Proc. World Congress. Intel. Control Autom.*, pp. 599–604, 2010.
8. Lama, B.B. “Controlling a Robotic Arm Manipulator with a PLC,” 2012.
9. Salvietti, G., Iqbal, Z., Malvezzi, M., Eslami, T., & Prattichizzo, D. (2019). Soft hands with embodied constraints: The soft ScoopGripper. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2019–May(May)* (pp. 2758–2764). <https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8793563>.
10. Kodituwakku, L., Nobel, I., & Apostolidis, V. (2013). Sustainable growth in the food and drink manufacturing industry. London Grant Thornton report commissioned by Food and Drinks Federation Retrieved from [https://www.fdf.org.uk/corporate\\_pubs/Grant\\_Thornton\\_full\\_report\\_2011.pdf](https://www.fdf.org.uk/corporate_pubs/Grant_Thornton_full_report_2011.pdf).
11. Demartini, M., Pinna, C., Tonelli, F., Terzi, S., Sansone, C. & Testa, C. (2018). Food industry digitalization: From challenges and trends to opportunities and solutions. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1371–1378. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.337>.



12. Wilson, M. (2010). Developments in robot applications for food manufacturing. *Industrial Robot: An International Journal*, 37(6), 498–502. <https://doi.org/10.1108/01439911011081632>.

13. Bader, F. & Rahimifard, S. (2018). Challenges for industrial robot applications in food manufacturing. *Proceedings ISCSIC'18* (pp. 1–8). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3284557.3284723>.

**Анотація.** У роботі розглядається інноваційне інженерне рішення запровадження автоматизованої робототехніки у готельно-ресторанній індустрії. Пояснюється це необхідністю швидко реагувати та підлаштовуватися під мінливу споживчу поведінку. Покоління Y вважає за краще отримувати враження, а не витратити час на щоденні турботи. Старша аудиторія більше захоплена професійним зростанням і прагне економити час на готуванні. У роботі описано використання безпілотних автомобілів для доставки їжі - один з найяскравіших технотрендів у ресторанній галузі. У статті підтверджено впровадження «гнучких» процесів автоматизації.

**Ключові слова:** інженерне рішення, робототехніка, готельно-ресторанна індустрія.

Стаття відправлена: 7.04.2022 г.

© Савченко-Перерва М.Ю.



УДК 348.147

**ELECTROTECHNICAL MOBILE LABORATORY:  
DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL AND LABORATORY  
ELECTROTECHNICAL STAND****ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ МОБИЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ:  
РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО СТЕНДА****Isaev I.A. / Исаев И.А.**

***Аннотация.** Подготовка современного специалиста, особенно в области электротехники и электроники, тесно сопряжена с практической деятельностью. Проведение физического эксперимента, в рамках которого возможно моделирование различных режимов работы электрических цепей является основой формирования практических навыков будущего специалиста. Современный рынок предлагает широкий спектр учебно-лабораторного оборудования – электрогенерирующих приборов, электронных устройств и приборов метрологического обеспечения. Тем не менее, востребованность в комплексном обеспечении лабораторного практикума остается актуальной, как с позиции минимизации стоимости оборудования, так и с позиции обеспечения необходимого учебного функционала и требований электробезопасности. В данной статье представлены результаты опытно-конструкторской разработки учебно-лабораторного стенда, в составе которого включены источники постоянного регулируемого напряжения, источники переменного одно- и трехфазного напряжения, а так же функциональный генератор электрических сигналов специальной формы. В составе стенда реализована модульная схема компоновки функциональных блоков, что обеспечивает высокую вариативность компоновки учебно-лабораторного стенда. Апробация разработанного учебно-лабораторного стенда была реализована в рамках лабораторного практикума подготовки студентов обучающихся по программе высшего образования по направлению «Приборостроение».*

***Ключевые слова:** электротехнический учебно-лабораторный комплекс, учебная лаборатория, система управления, схема электроснабжения.*

**Вступление**

Одной из существенных составляющих процесса подготовки современного специалиста, особенно в области электротехники и электроники, остается физический эксперимент, в ходе которого обеспечивается наблюдение электроэнергетических процессов, а так же возможность исследования тех или иных режимов работы электрических цепей и устройств. Наиболее сложными режимами работы электрооборудования являются режимы короткого замыкания, приводящие к всплескам и провалам напряжения, а также режимы, характеризующиеся увеличением веса высоких гармоник напряжения. В учебном процессе, возможность физического моделирования подобных режимов, изучение механизмов их возникновения, способов измерения и управления электрическими параметрами во многом определяют уровень профессиональной подготовки будущего специалиста.

В данной статье рассмотрен опыт разработки и реализации проекта электротехнического учебно-лабораторного стенда и его апробации в учебном процессе. В состав стенда включены источники постоянного тока фиксированного и регулируемого напряжения, источники переменного одно- и трехфазного тока, а так же генератор электрических сигналов специальной





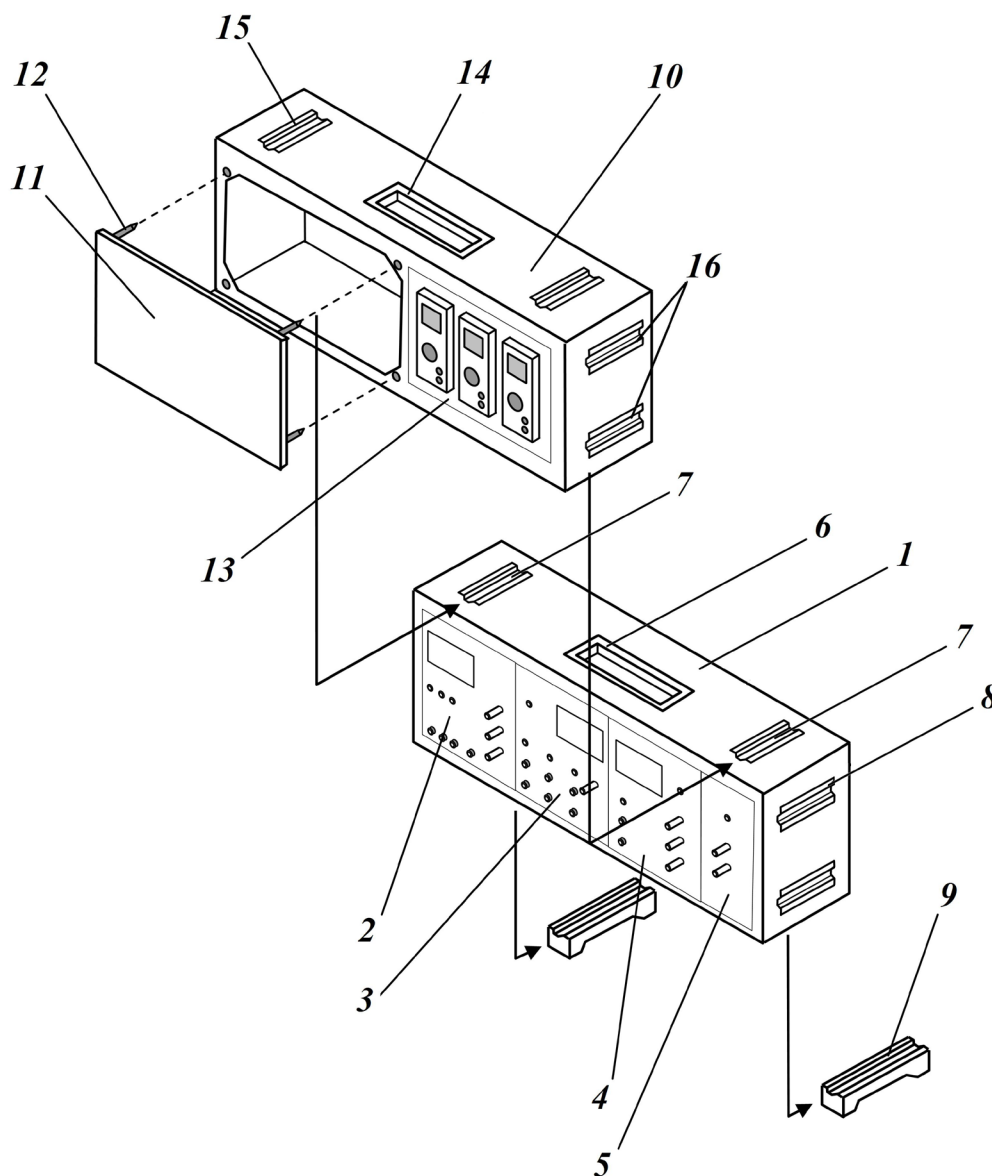
формы. Разработанное схемное решение стенда обеспечивает защиту электронных блоков стенда от токов короткого замыкания и режима длительной перегрузки на стороне потребителя. Высокий уровень электробезопасности, эргономичность схемы расположения элементов управления и индикации режимов работы, высокая функциональность и мобильность учебно-лабораторного стенда обеспечивают возможность его использования в учебных лабораторно-практических курсах программ среднего и среднеспециального образования. Для определения основных потребительских характеристик учебного лабораторного оборудования был выполнен анализ рынка предложений ряда ведущих организаций в части лабораторного оборудования по электротехнике и электронике [1, 2]. Согласно проведенному анализу учебное лабораторное оборудование должно обладать следующими свойствами:

- высокой степенью электробезопасности при выполнении обучаемыми лабораторных работ – исключение возможности поражения обучающегося электрическим током при любых его непрофессиональных действиях с предоставленным его пользовательским интерфейсом;
- повышенной степенью электрической защиты функциональных блоков лабораторного оборудования, исключающей возможность их поломки при любых возможных действиях обучаемого в рамках предоставленного ему пользовательского интерфейса;
- доступностью и наглядностью пользовательского интерфейса – физическая реализация на интуитивно понятном уровне процедур сборки исследуемых цепей и схем, процедур электрических и осциллографических измерений, а так же высокая эргономичность формируемого рабочего пространства обучаемого;
- обеспечением достаточного уровня индикации электрических параметров рабочих и аварийных режимов работы электрооборудования, исключающее невосприятие, непонимание и двойное толкование используемых сигналов.
- интегративностью лабораторных работ – возможность реализации на одном учебном стенде ряда лабораторных работ по нескольким учебным темам;
- высоким уровнем ремонтпригодности лабораторного оборудования.

#### **Учебно-лабораторный электротехнический стенд**

Учебно-лабораторный электротехнический стенд был разработан с использованием модульной схемы компоновки его функциональных блоков, что позволило максимально учесть перечисленные выше требования, предъявляемые к подобному оборудованию в рамках учебного процесса.

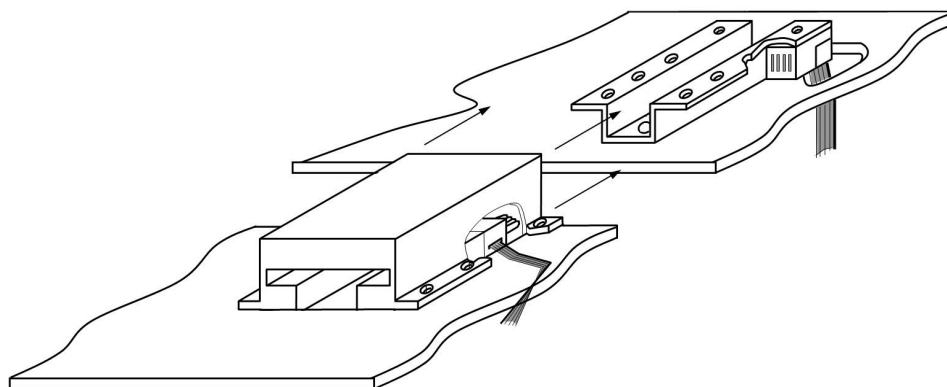
На рис.1 представлена схема компоновки функциональных модулей учебно-лабораторного стенда. Особенностью разработанного механизма крепления отдельных функциональных модулей стала легкоъемная конструкция, позволяющая обеспечивать надежное механическое крепление в сочетании с обеспечением электрического соединения. Прототипом для разработки механизма электромеханического крепления послужила конструкция, предложенная в полезной модели к патенту «Учебно-лабораторный комплекс» [3].



**Рис.1. Модульная схема компоновки учебно-лабораторного электротехнического стенда.**

*1, 10 – корпуса модулей учебно-лабораторного стенда; 2, 3, 4, 5 – блоки источников тока и функционального генератора; 6, 14 – ручка-трансформер; 7, 8, 15, 16 – легкоразъемный механизм электромеханического соединения модулей; 9 – ножки; 11 – легкоъемная панель нагрузки; 12 – крепления панели нагрузки; 13 – блок измерения.*

Широкой функционал обеспечения учебных лабораторных работ в конструкции учебно-лабораторного стенда обеспечивается специализированными наборами электронных компонентов, включаемых в состав панелей нагрузки. Разработанная линейка панелей нагрузки позволяет проводить фронтальные учебные занятия для группы обучаемых. Разработанный механизм крепления (рис.2) позволяет конфигурировать различные наборы функциональных модулей с учетом специализированных требований учебного процесса или индивидуального заказчика.



**Рис.2. Легкоразъемный механизм электромеханического соединения модулей учебно-лабораторного электротехнического стенда.**

Одним из основных модулей учебно-лабораторного электротехнического стенда является функциональный модуль источников питания. Принятый в разработке принцип модульной компоновки модулей позволяет варьировать конфигурацию модуля источников питания, включая в его состав те или иные блоки источников питания.

В состав основной конфигурации модуля источников питания включены следующие блоки:

- блоки источников постоянного тока с постоянными номиналами напряжений 5, 15 и 24 вольта;
- блоки источников постоянного тока с регулировкой напряжение в диапазоне от 1 до 24 вольт;
- блоков трехфазного синусоидального тока с номиналами фазного напряжения 20 и 34 вольта, блоки позволяют имитировать режимы потери фазного напряжения и короткого замыкания фаз;
- блока генератора электрических сигналов специальной формы. Данный блок позволяет производить отладку электронного оборудования с использованием электрических сигналов прямоугольной, треугольной и синусоидальной форм с регулируемой амплитудой и частотой. Для удобства эксплуатации генератор электрических сигналов специальной формы оснащен цифровыми частотомером и вольтметром.
- блок модуляции электрических сигналов, позволяет генерировать электрические сигналы с частотной, фазовой модуляцией, а так же линейной и нелинейной модуляцией амплитуды.

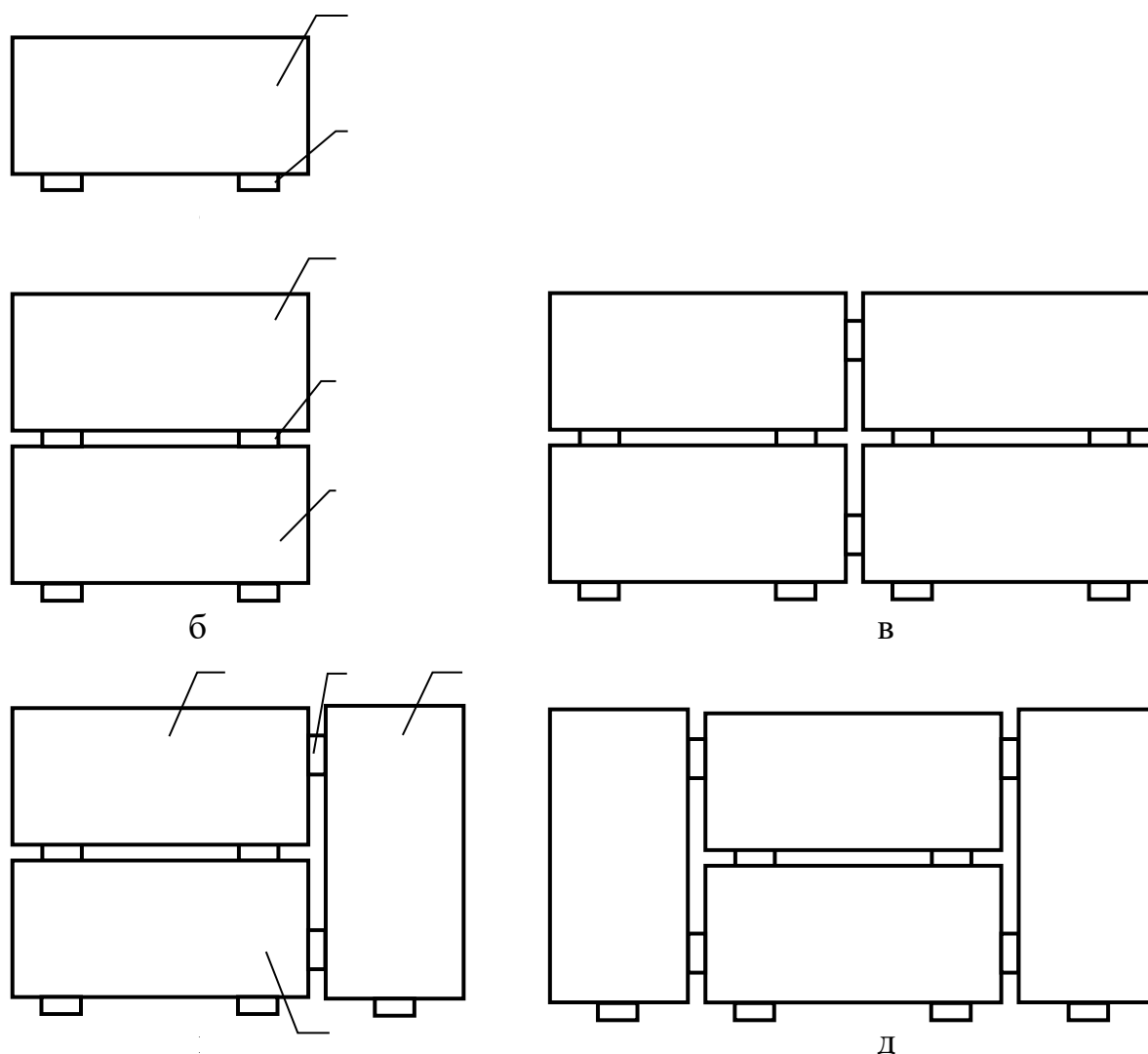
На рис. 3 приведены варианты компоновки функциональных модулей учебно-лабораторного стенда, позволяющие учитывать индивидуальные пожелания конечного потребителя.

Апробация разработанного учебно-лабораторного стенда была реализована в рамках лабораторного практикума подготовки студентов обучающихся по программе высшего образования по направлению «Приборостроение» Волгоградского государственного технического университета.

Перспективой дальнейшего усовершенствования учебно-лабораторного стенда является разработка функционального модуля реализующего функции



автоматического съема, обработки, хранения и передачи экспериментальных данных.



**Рис.3. Учебно-лабораторный электротехнический стенд: а) одиночная компоновка; б) вертикальная компоновка; в) вертикальная расширенная компоновка; г) вертикально-горизонтальная компоновка; д) вертикально-горизонтальная расширенная компоновка.**

*1, 3, 4 – функциональные модули, 3 – легкоразъемный механизм электромеханического соединения модулей учебно-лабораторного электротехнического стенда*

### **Заключение и выводы**

В статье представлены результаты разработки учебно-лабораторного электротехнического стенда. При проектировании структуры стенда были проанализированы эксплуатационные характеристики представленного на рынке специализированного учебного оборудования. На основе проведенного анализа была разработана модульная схема компоновки, которая позволила максимально учесть требования, предъявляемые к учебному лабораторному оборудованию в рамках реализации учебных программ среднего и средне специального образования. Основными достоинствами разработанного учебно-лабораторного электротехнического стенда являются:



- ✓ высокая степень электробезопасности при выполнении обучаемыми лабораторных работ;
- ✓ доступность и наглядность пользовательского интерфейса;
- ✓ обеспечение необходимого уровня индикации электрических параметров рабочих и аварийных режимов работы электрооборудования и высокая эргономичность формируемого рабочего пространства;
- ✓ высокая вариативность функциональных возможностей, в части обеспечения постановки учебных лабораторных работ;
- ✓ высокий уровень ремонтпригодности лабораторного оборудования (применена модульная технология).

### Литература:

1. Исаев, А.В. Электротехническая лаборатория в учебном процессе / А.В. Исаев // Сборник научных трудов SWorld по матер. междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2013» (18-29 июня). - 2013. - Т. 9, № 2. - 5-8.
2. Интегрально-модульный стенд ИМС-12 «Электротехника и электроника» / И.А. Миронов, В.А. Клевцов, А.Ю. Миронов, А.В. Исаев, А.И. Нефедьев // Современные технологии и управление: сб. науч. тр. III междунар. науч.-практ. конф. (20-21 нояб. 2014 г.) / ФГБОУ ВО Московский гос. ун-т технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий ун-т), Филиал в р. п. Светлый Яр Волгоградской области. - Светлый Яр, 2014. - С. 26-28.
3. Пат. 140456 Российская Федерация, МПК G09B23/18. Учебно-лабораторный комплекс / А.И. Нефедьев, А.В. Исаев; ВолгГТУ. - 2013.

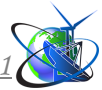
**Abstract.** *In this paper, the experience of developing and implementing an electric educational laboratory stand project into the educational process is considered. The functionality of the stand allows you to solve educational and practical tasks for studying the operating modes of electrical circuits. The paper identifies the key requirements for laboratory teaching complex of electrical engineering in terms of implementation of schemes of their electricity supply, electrical safety, functions of governance and organization of the training sessions. The scheme of the stand modular layout implemented by the author makes it possible to vary the functional composition of the modules of the educational and laboratory electrical stand, expanding the range of practical educational tasks to be solved. The developed training and laboratory stand was successfully tested within the framework of the training course for students enrolled in the higher education program in the direction of "Instrument Engineering" of the Volgograd State Technical University.*

**Key words:** *laboratory teaching complex of electrical engineering, learning laboratory, a control system, power supply circuit.*

Научный руководитель: д.т.н., проф. Нефедьев А.И.

Статья отправлена: 25.04.2022 г.

© Исаев И.А.



<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-042>

DOI: 10.30890/2567-5273.2022-20-01-042

## AUTOMATED UPDATE OF EDUCATIONAL CONTENT OF ONTOLOGY-ORIENTED DISTANCE LEARNING SYSTEMS

## АВТОМАТИЗОВАНЕ ОНОВЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОНТЕНТУ ОНТОЛОГІЧНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Klokov A.R. / Клоков А.Р.

бакалавр

Volos D.A. / Волос Д.А.

бакалавр

Tytenko S.V. / Титенко С.В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7548-9053

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",

Kyiv, Peremohy Avenue 37, 03056

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056

**Анотація.** Основна частина даної статті присвячена дистанційному навчанню та підходам для його реалізації, зокрема онтологічному. Здійснено огляд питань щодо розробки та експлуатації систем дистанційного навчання і стандартів таких систем, зокрема SCORM. У даній статті проаналізовано основні підходи для автоматичного наповнення електронних ресурсів інформацією за допомогою сценаріїв та уже розроблених модулів написаних мовою програмування PHP. Описано переваги автоматизованої системи аналізу контенту для оновлення та систематизації навчальної інформації онтологічно-орієнтованого порталу.

**Ключові слова:** електронне навчання, парсинг, парсер, контент, онтологія, адаптивність, SCORM, персоніфікація, семантична мережа, інтернет-портал.

### Вступ.

Навчання – це процес передачі та засвоєння знань, умінь, звичок і навичок [1]. Процес навчання може відбуватися по-різному і, як наслідок, виділяють різні його типи, але ми обмежимося наступною класифікацією: традиційне та дистанційне (електронне) навчання. На сьогоднішній день традиційне є основоположним типом навчання, але все частіше видозмінюється в бік дистанційного [2][3].

Найважливішим засобом електронного навчання є інтернет-портали. Вони дозволяють виконувати пошук інформації у навчальних джерелах як по атрибутам, так і по контексту і, як результат, видавати користувачу найбільш релевантні результати. Навчальні матеріали можуть зберігатися як на самому порталі, так і бути знайденими у відкритих джерелах за допомогою парсингу [4][5].

### Основна частина

**Дистанційне навчання.** Дистанційне (електронне) – навчання, яке базується на використанні різноманітних дистанційних освітніх технологій для взаємодії викладача з учнями. Під цими технологіями розуміється обмін інформацією між студентами й педагогами із використанням інформаційно-телекомунікаційних мереж. Дистанційне навчання (ДН) вважається однією з форм системи безперервного навчання, яка дає рівні можливості здобування освіти усім (від школярів і студентів до спеціалістів) з будь-якої точки світу



шляхом використання потенціалу провідних освітніх та наукових закладів [6][7]. Для того, щоб зробити процес дистанційного навчання більш зручним та автоматизованим створюють системи дистанційного навчання (СДН) та платформи (LMS) [8][9].

**Стандарти систем електронного навчання, SCORM.** Одним зі стандартів для створення електронних курсів є SCORM (Sharable Content Object Reference Model). За його основу були взяті попередні стандарти (AICC, IMS QTI, IEEE LOM), які з часом модернізувалися та розвинулися до SCORMa.

Стандарт ADL SCORM (Advanced Distributed Learning Initiative Network) створений для інтеграції різноманітних стандартів і специфікацій у єдину модель. Він являє собою технічну інфраструктуру, що дозволяє спільно використовувати об'єкти у розподіленому навчальному середовищі. Простіше кажучи, SCORM дає можливість спільно використовувати навчальний контент (курси), переносити готові, скомпоновані курси з однієї СДН до іншої без змін (без повної переробки для підлаштування під нову систему), ділитися курсами з іншими, щоб вони могли використовувати їх вже у своїй системі.

Поговоримо детальніше про особливості та принцип роботи SCORM. Основний зміст стандарту складають два компоненти: Run Time Environment та Content Aggregation Model.

Run Time Environment описує механізми взаємодії, відтворення і запуску навчальних матеріалів у середовищі виконання на основі стандартного інтерфейсу і моделі даних. Взаємодія між курсами і LMS здійснюється через API-адаптер за допомогою JavaScript-запитів із використанням восьми функцій.

Content Aggregation Model (CAM) описує структуру навчальних матеріалів, метадані, структуру даних для генерації пакетів курсів. Вона розділена на три частини: Content Model, the Meta-data, Content Packaging.

На сьогоднішній день ми вже можемо побачити як SCORM витісняють нові стандарти CMI5 і Tin Can API [10][11].

**Проблема електронних освітніх ресурсів та її рішення.** Однією з найбільших проблем сучасного суспільства є інформаційне переповнення. Люди просто фізично не здатні аналізувати та обробляти такі величезні масиви даних, які спостерігаються сьогодні, навіть із використанням інформаційних технологій. Оптимальним вирішенням цієї проблеми вважається перехід від зберігання й обробки даних до зберігання й обробки знань, що само собою формує нову семантичну хвилю. На цьому етапі ми звернули увагу на поняття семантики і, як наслідок, онтології. Розберемо їх детальніше [9].

**Онтологія, особливості представлення даних.** Онтологія – це явна специфікація концептуалізації (Грубер), де концептуалізація – це процес визначення концептів, а концепт – клас об'єктів або явищ реального або вигаданого світу. Онтології – сховища знань, які можуть сприйматися людьми та комп'ютерами. Зазвичай вони являють собою ієрархічну систему понять і термінів певної предметної області. Отже, онтологія – це система, яка складається із тверджень, відношень та зв'язків між ними, за допомогою яких можна описувати поняття.

У математиці є розділ, який має назву описові логіки. Усі вони основані на



твердженні, що будь-яку інформацію, якою б складною вона не була, можна представити у вигляді простих відношень – триплетів. Триплет – це два пов'язаних між собою об'єкта або явища, які на мові ООП прийнято називати екземплярами, а на мові онтології – індивідами.

Яким чином ці триплети можна створити та описати? Для цього було створено мову OWL (Ontology Web Language), яка дозволяє записувати і зберігати дані у вигляді триплетів, формуючи базу знань, а також формувати для них логічні правила. Для цієї мови, як і для будь-якої іншої, потрібно середовище, і таке є – Protege. Воно дозволяє зберігати базу знань у вигляді файлу формату XML або RDF. RDF (Resource Description Framework) – модель, яка дозволяє представляти дані у вигляді триплетів, зберігати і накопичувати їх у сховищі у текстовому форматі та робити запити до нього.

**Семантика та онтологія.** На сьогоднішній день пошукові системи здійснюють пошук інформації по ключовим словам, не розуміючи її сенс, тобто значення, семантику. Семантичний же веб має наступні переваги над традиційним:

- пошук здійснюється з розумінням його сенсу, що робить його більш ефективним;
- якщо відповіді не знайдено у окремому джерелі, її можна знайти у сукупності джерел;
- використання баз знань, а не лише баз даних, що дозволяє знаходити до цього невідомі знання;
- процес пошуку потрібної або потенційно корисної інформації може здійснюватися автоматично, без втручання людини.

Семантика дозволяє співвідносити об'єкти реального світу із мовною одиницею. Множина таких об'єктів називається денотатом, це можуть бути як фізичні об'єкти, так і явища, властивості або ситуації.

Якщо підходити до створення онтологій, то доведеться створити каталог з визначеннями та відношеннями між поняттями. Звичайно, не потрібно кожному створювати їх самостійно, так як вони весь час поповнюються та створюються нові. Є каталоги для конкретної предметної області, а є загальні, які охоплюють основні поняття з кількох сфер [12].

**Застосування онтологій.** Коли ми маємо справу з електронним навчанням, а саме електронними курсами, ми стикаємося з великою кількістю навчальних компонентів. Звичайно, для більшої зручності їх слід робити автономними та достатньо малими, щоб їх можна було використовувати повторно в різних контекстах. Але тоді виникає проблема у пошуку і структуризації потрібних компонентів, адже їх кількість стає величезною. Щоб спростити пошук, кожен компонент має містити свої метадані, тобто інформацію, яка ідентифікує його. Крім того, термінологія і словниковий запас, який використовується для опису компонентів навчання, повинен бути уніфікованим.

Для створення потрібної технології треба реалізувати 4 етапи: створення, характеристика, доставка, зворотній зв'язок. Це можна зробити за допомогою таких компонентів як об'єкти навчання, онтологія, семантична мережа та





система керування вмістом [13].

**Автоматизовані системи оновлення навчального контенту.** Важливою складовою наповнення та оновлення контенту залишається автоматизація. Автоматизовані системи дозволяють не лише економити час, оскільки можуть за лічені хвилини обійти тисячі веб-сторінок, а також мінімізувати людське втручання та зменшити відсоток помилок, оснований на людському факторі. З цим завданням чудово справляються так звані парсери. [16]

Синтаксичний аналізатор – це модуль, який зчитує та розпізнає необхідні дані заданого формату, здатний сортувати інформацію, виділяючи найважливішу і обробляти її згідно з алгоритмом, створеному для вирішення того чи іншого завдання.

**Переваги парсингу.** Проаналізуємо переваги парсингу над ручним заповнення сайту. [16]

1. Актуальний контент. Кожен хоче отримувати цікаву та нову інформацію. Людям не цікавий вчорашній прогноз погод чи курс валют. Тому застосування парсера вкрай необхідне – скрипт автоматично буде проходитись по контенту та замінити його на актуальний.
2. Швидкість. Парсери з максимальною швидкістю можуть наповнити новий сайт необхідною інформацією або ж додати нову на уже створений програмний продукт.
3. Економія часу та грошей. Парсинг мінімізує необхідність залучення людини для збору інформації, а також самостійно знаходить та систематизує контент за певним алгоритмом.

**Процес парсингу.** Процес парсингу – це автоматичне вилучення великого масиву даних із веб-ресурсів, яке виконується за допомогою спеціальних скриптів. Якщо коротко, то парсер ходить за посиланнями вказаного сайту і сканує код кожної сторінки, збираючи інформацію про неї. Сукупність інформації з усіх сторінок сайту і буде результатом парсингу сайту. Парсинг працює на основі XPath-запитів, це мова, яка звертається до певної ділянки коду сторінки та витягує з нього задану критерієм інформацію.

Алгоритм стандартного парсингу сайту:

1. Пошук необхідних даних у вихідному вигляді.
2. Вилучення даних із відділенням від програмного коду.
3. Формування звіту згідно з вимогами, які були задані.

**Варіанти парсингу.** Завдання спарсити та обробити необхідну інформацію зі стороннього сайту постає перед веб-розробником досить часто і з найрізноманітніших причин: таким чином можна заповнювати свій проект контентом, динамічно підвантажувати певну інформацію тощо. У таких випадках перед програмістом постає питання: яку з десятків бібліотек вибрати.

#### *1. Регулярні вирази*

Перше, що спадає на думку – це “регулярки”. Якщо перед програмістом стоїть просте завдання, то регулярні висловлювання справляються найкраще, але їх використання значно ускладнюється, коли потрібно спарсити великий і складний шматок HTML-коду, який, до того ж, не завжди відповідає якомусь певному шаблону і може містити синтаксичні помилки.



При спробі розібрати HTML код за допомогою регулярних виразів на вас чекатимуть деякі підводні камені. Їх наявність найчастіше пов'язана з тим, що регулярні вирази не призначені для розбору тегів – для цього є більш просунуті інструменти. Проте, вміти використовувати регулярні висловлювання для парсингу теж важливо – по-перше, регулярки – це простий та популярний інструмент для парсингу, по-друге, регулярки працюють на порядок швидше, ніж будь-які бібліотеки (часто це критично), ну, і по-третє, навіть при використанні спеціальних бібліотек потреба в регулярках все одно є.

## 2. XPath

XPath не є бібліотекою у звичному значенні цього слова, а являється стандартним модулем, який вбудовани в PHP починаючи з п'ятої версії. Якщо простими словами, то це мова запитів до елементів XML і XHTML документа. XPath дозволяє значно спростити логіку парсерів і цим прискорити їх розробку.

## 3. DOMDocument

Аналогічно як і XPath DOMDocument є стандартним модулем PHP. Саме відсутність необхідності використовувати сторонні рішення робить їх (XPath та DOMDocument) одними із найкращих інструментів для парсингу HTML сторінок. На перший погляд може здатися, що він має низький поріг входу, проте це не так. Варто лише трохи розібратися з синтаксисом і базовими принципами, як DOM відразу стане інструментом для парсингу номер один. Тим не менш, цей варіант не позбавлений мінусів – для парсингу використовується двигун, в першу чергу призначений для роботи з XML, а XML і HTML хоч і дуже подібні між собою мови, але в той час абсолютно різні технології. З цього випливають специфічні вимоги до розмітки: наприклад, усі HTML теги мають бути закриті та відсутні помилки. На жаль, на сайтах донорах помилки – не рідкість, тому даний метод не завжди буде доречним.

## 4. Simple HTML DOM

Simple HTML DOM — PHP-бібліотека, що дозволяє парсити HTML-код за допомогою зручних jQuery-подібних селекторів. Вона позбавлена головного недоліку XPath та DOM — бібліотека вміє працювати навіть із невалідним HTML-кодом, що значно спрощує роботу. Також можна забути про проблеми з кодуванням: усі перетворення виконуються автоматично. Як і JQuery, Simple HTML DOM вміє шукати та фільтрувати вкладені елементи, звертатися до їх атрибутів і навіть вибирати окремі логічні елементи коду, наприклад коментарі. Незважаючи на не найвищу продуктивність, у порівнянні з іншими варіантами, Simple HTML DOM має найбільше російськомовне ком'юніті та найбільшу поширеність у рунеті – для новачків це робить написання коду з її використанням значно простіше. [18]

## 5. phpQuery

Як і Simple HTML DOM, phpQuery є PHP варіантом JQuery, але цього разу схожим на свого «старшого JavaScript-брата». Портовано майже все, що є в JS-фреймворку: підтримка селекторів, атрибутів, маніпуляцій, обходу, плагінів, подій (зокрема імітації кліків тощо) і навіть AJAX. Використовувати можна як через PHP, так і через командний рядок у вигляді окремої програми. Крім того, він значно швидший за Simple HTML DOM. Також у цій бібліотеці можна



додавати елементи «на льоту». Але незважаючи на зручність бібліотеки, не слід до неї звикати. Для вирішення дрібних завдань вона підходить, напевно, найкраще. Проте це все ж таки трохи застаріла бібліотека.

#### 6. *htmlSQL*

*htmlSQL* – експериментальна PHP бібліотека, що дозволяє маніпулювати HTML-розміткою за допомогою SQL-подібних запитів. Як і зі звичайними *mysql\_* функціями, скориставшись методами *fetch\_array()* або *fetch\_objects()*, можна отримати результат виконання запиту як звичний асоціативний масив або об'єкт. Варто також згадати про високу швидкодію *htmlSQL*: часто вона справляється в кілька разів швидше за *phpQuery* або того ж Simple HTML DOM. Тим не менш, для складних завдань може не вистачити функціональності, а розробка бібліотеки давно припинена. Але навіть незважаючи на це, вона все ще цікавить веб-розробників: у ряді випадків значно зручніше використовувати мову SQL замість CSS-селекторів.

#### Висновки

Отже, звернувши свою увагу на електронне навчання, ми побачимо необхідність використання для СДН стандартів дистанційного навчання, зокрема SCORM, та веб-порталів, які дозволяють полегшити конструювання курсів і реалізувати персоналізацію для учнів.

Сучасна людина має вільний доступ до терабайтів інформації, але вона не здатна самотійно оперувати такими об'ємами даних без попередньої їх обробки за допомогою онтологій та семантичних мереж. Вони дають змогу ефективніше структурувати дані, встановлювати логічні зв'язки між ними та навіть дозволяють машинам розуміти зміст даних, з якими ті взаємодіють. У технічному плані це реалізується за рахунок використання триплетів, моделі даних RDF, мови OWL та середовища для неї Ptotege і роботи з базами знань.

Автоматизація залишається важливою складовою наповнення та оновлення контенту. За допомогою автоматизованих систем можна не лише економити час, а також мінімізувати людське втручання та зменшити відсоток помилок, оснований на людському факторі. З цим завданням справляються парсери. Вони швидко зчитують сотні сторінок, розпізнають необхідні дані заданого формату, здатні сортувати інформацію, виділяючи найважливішу і обробляти її згідно з алгоритмом, створеному для вирішення того чи іншого завдання.

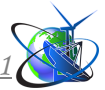
Для автоматизації наповнення контенту було наведено декілька варіантів парсингу, а саме регулярні вирази, Xpath, DOMDocument, Simple HTML DOM, *phpQuery*, *htmlSQL*. Якщо перед програмістом стоїть завдання обробити невелику просту частину, то регулярні вирази справляються найкраще, але їх використання значно ускладнюється, коли потрібно опрацювати великий і складний фрагмент. XPath та DOMDocument є стандартними модулями PHP. Саме відсутність необхідності використовувати сторонні рішення робить їх одними із найкращих інструментів для парсингу HTML сторінок, проте на сайті-донорі повинні бути відсутні помилки та закриті усі html теги. *PhpQuery* та *htmlSQL* є хорошими бібліотеками лише для нескладних завдань. Simple HTML DOM позбавлена головного недоліку — бібліотека вміє працювати



навіть із невалідним HTML-кодом, що значно спрощує роботу, проте не обійшлося без недоліків, а саме не найвища продуктивність.

### Література:

1. Перфилова И.С. Роль образования в жизни современного человека // Бюллетень медицинских интернет-конференций. - 2019. - Том. 9, №4. - С.171.
2. Усманова М.И. Традиционное обучение, его плюсы и минусы [Электронный ресурс]. - Специальность 44.02.02 ОГАПОУ СПК. - 2018. - Режим доступа: <https://nsportal.ru/npo-spo/gumanitarnye-nauki/library/2018/10/20/traditsionnoe-obuchenie-ego-plyusy-i-minusy>.
3. Вантеев М.С. Что в действительности нам даёт традиционное обучение? // Школьные технологии. - 2014. - №3. - С.175-177.
4. Иванников А.Д. Образовательные интернет порталы как средство дистанционного обучения // Инженерный вестник Дона. - 2020. - №11(71).
5. Титенко С.В. Структурные основы онтологически-ориентированной системы управления информационно-учебным Web-контентом // Управляющие системы и машины: информационные технологии: междунар. науч. журн. - 2012. - №2. - С.35-42.
6. Отекина Н.Е. Электронное обучение, дистанционные образовательные технологии // Инновационная наука. - 2017. - №4-2. - С.127-128.
7. Кузнецова Т.Ф. Дистанционное обучение: плюсы и минусы [Электронный ресурс]. - 2021. - Режим доступа: <https://nsportal.ru/npo-spo/zdravookhranenie/library/2021/06/15/dstantsionnoe-obuchenie-plyusy-i-minusy>.
8. Дубникова Д. Что такое Learning Management System (LMS) и как с её помощью управлять обучением [Электронный ресурс]. - 2018. - Режим доступа: <https://www.ispring.ru/elearning-insights/chto-takoe-lms>.
9. Васильев В.Н., Муромцев Д.И., Стафеев С.К. Онтологический подход в электронном обучении: открытость, гибкость, связность и интерактивность // Компьютерные инструменты в образовании. - 2013. - №5. - С.33-41.
10. Стафеев С.К., Сухорукова М.В., Пашковский М.А., Клепинина Н.В. Внедрение открытого образовательного стандарта SCORM в учебный процесс // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2007. - №44. - С.10-15.
11. Abdellah Bakhouyi, Dehbi R., Banane M., Talea M. A Semantic Web Solution for Enhancing The Interoperability of E-learning Systems by Using Next Generation of SCORM Specifications // International Journal of Emerging Technologies in Learning. - 2019. - №14(11). - С.174-185.
12. Константинова Н.С., Митрофанова О.А. Онтологии как системы хранения знаний // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению “Информационно-телекоммуникационные системы”. - 2008. - С.1-54.
13. Mohammed M. Alhawiti, Yasser Abdelhamid. A Personalized e-Learning Framework // Journal of Education and e-Learning Research. - 2017. - vol.4(1). - С.15-21.
14. Melnyk K., Melnyk , V., & Hryhoryshyn A. (2020). Automatic collection of



information (parsing) in the network. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (39), 151-156. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-39-26>

15. Смольянов Андрей Григорьевич, Пантилейкин Никита Викторович. Методические аспекты изучения парсинга средствами php в курсе "Сетевые языки и Web-программирование". <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-aspekty-izucheniya-parsinga-sredstvami-php-v-kurse-setevye-yazyki-i-web-programmirovaniye>

16. Лыгина Н.И., Пудич А.С. Исследование правильности и эффективности средств парсинга информации на веб-ресурсах. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-pravilnosti-i-effektivnosti-sredstv-parsinga-informatsii-na-veb-resursah>

17. Кузминский П.В. Один из способов организации динамического обновления контента для информационной системы хостинг-провайдеров. <https://cyberleninka.ru/article/n/odin-iz-sposobov-organizatsii-dinamicheskogo-obnovleniya-kontenta-dlya-informatsionnoy-sistemy-hosting-provayderov>

18. Krivenko , S., Rotaniova, N., & Lazarevska , Y. (2021). АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ НЕСТАНДАРТНИХ ДІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ СЦЕНАРНОГО АНАЛІЗА ТЕКСТУ. Електронне фахове наукове видання "Кібербезпека: освіта, наука, техніка", 1(13), 92-101. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.13.92101>

**Abstract.** *The main part of this article is devoted to distance learning and approaches to its implementation, including ontological. An overview of issues related to the development and operation of distance learning systems and standards of such systems, in particular SCORM. This article analyzes the main approaches to the automatic filling of electronic resources with information using scripts and already developed modules written in the PHP programming language. The advantages of an automated content parsing system for updating and systematizing educational information of an ontologically oriented portal are described.*

**Key words:** *e-learning, parsing, parser, content, ontology, adaptability, SCORM, personification, semantic network, internet portal.*

*Науковий керівник: к.т.н., доц. Титенко С.В.*

Стаття відправлена: 22.04.2022

© Клоков А.Р., Волос Д.А.



УДК 628.492

**CALCULATION METHOD OF MILLING PEAT THERMOCHEMICAL  
PROCESSING IN THE FLOW OF GAS HEAT CARRIER**  
**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕРМОХІМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФУ  
У ПОТОЦІ ГАЗОВОГО ТЕПЛОНОСІЯ**

Sklyarenko E.V. / Скляренко Є.В.

Ph.d. / к.т.н.

ORCID : 0000-0003-3952-6520

Vorobiov L.Y. / Воробйов Л.Й

d.s., s.s. / д.т.н., с.н.с.

ORCID : 0000-0001-7958-6996

SPIN: 6154-2069

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, M. Kapnist Str., Kyiv  
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, вул. М. Капніст, 2а, Київ*

**Анотація.** Розглядаються перспективи використання фрезерного торфу шляхом його попередньої термохімічної переробки. Наведена технологічна схема процесу термохімічної переробки фрезерного торфу у потоці високотемпературного газового теплоносія, основні аспекти функціонування та методика розрахунку. Порядок розрахунку основних технологічних і конструктивних характеристик розглянуто на прикладі газогенератора продуктивністю 100 кг/год. Ефективність використання запропонованої технологічної схеми обумовлена можливістю використання фрезерного торфу в існуючих теплоенергетичних установках, що дозволяє скоротити витрати традиційних викопних палив і зменшити шкідливі викиди у довкілля.

**Ключові слова:** фрезерний торф, термохімічна переробка, методика розрахунку газогенератора.

### Вступ.

Підвищення ефективності використання і економія традиційних викопних палив, сьогодні є однією з найважливіших задач в Україні. Це пов'язано зі скороченням природних запасів палив і зниженням їх якості при постійному зростанні попиту і цін на них. Ситуація погіршується ще й тим, що в силу фізичного зносу енергетичного обладнання (понад 90% відпрацювало гарантований ресурс), а також його морального зносу (їх середній ККД  $\approx$  30-35%), суттєво підвищується енергоемність валового внутрішнього продукту.

Актуальність такого напрямку розвитку економіки, соціальної сфери та науки країни очевидна, адже витрати на заходи з економії палив, як правило, в 2...3 рази нижчі від витрат на добування, транспортування і переробку.

Значна економія традиційних палив вбачається в більш широкому використанні місцевих видів палива (бурого вугілля, торфу, деревини і її відходів), відновлюваних джерел енергії (вітру, сонця, землі та ін.), та альтернативних палив (генераторні і синтетичні гази, водень, спирти, тверді побутові і промислові органічні відходи, біомаса та ін.).

Раціональне перетворення їх енергетичного потенціалу на корисну енергію базується на спеціальних дослідженнях, розробці нової техніки і технологій. Так, широкого поширення набули технології попередньої термохімічної переробки вихідного твердого палива в нові палива (газоподібні, рідкі чи



тверді), що дозволяє ефективно їх використовувати, без порушень конструктивних і екологічних показників існуючих енергетичних установок.

**Метою даної роботи** є висвітлення основних положень розробленої методики розрахунку пристрою для термохімічної переробки полідисперсних палив у потоці високотемпературного газового теплоносія.

### **Основний матеріал.**

Проведений аналіз показав, що існує багатий світовий досвід одержання пари, тепла і електроенергії за рахунок енергетичного потенціалу торфу (переважно фрезерного торфу), як відновлюваного джерела енергії. В Україні ж, при геологічних запасах в 2,2 млрд.т [1], на його долю приходиться біля 0,3% виробленої в країні енергії.

Проблема енергетичного використання торфу пов'язана зі специфікою процесу добування (сезонність і необхідність сушки) та його низькими теплотехнічними характеристиками. Так, теплота згоряння торфу коливається в межах 1300...2500 ккал/кг на робочу масу, і це при тому, що його теплота згоряння на горючу масу є 5200 ккал/кг.

Таке зменшення теплоти згоряння, в першу чергу, пов'язано з наявним баластом і зміною його концентрації в доволі широких межах.

Основною складовою баласту торфу є вода. В природньому стані її вміст складає 85...95%, що суттєво змінює теплотехнічні характеристики торфу:

- а) волога баластує горючу масу палива і змінює склад його робочої маси, що впливає на теплоту згоряння і жаропродуктивність;
- б) баластування водяними парами призводить до зниження температури згоряння і погіршення умов спалювання палива загалом;
- в) на випаровування води витрачається значна кількість теплоти, яка викидається з продуктами згоряння в атмосферу, підвищуючи її теплове забруднення.

Аналогічний вплив на теплотехнічні характеристики торфу мають і мінеральні домішки (зола), концентрація яких може сягати 18 ..20% і вище.

В таблиці 1 приведено розрахункові дані впливу баласту на теплоту згоряння торфу. Характер цього впливу узагальнено графіками наведеними на рисунку 1.

Іншою проблемою енергетичного використання фрезерного торфу є його дрібнозернистість з широким фракційним складом. Згідно проведеного ситового аналізу, він майже на 90% складається з фракцій 1 мм і менше.

Наведені особливості фрезерного торфу (полідисперсний склад, висока вологість і зольність) суттєво ускладнюють і його термохімічну переробку, потребуючи спеціальних рішень для реалізації високоефективного процесу.

В зв'язку з тим, що значний інтерес представляє ідея адаптації існуючих енерготехнологічних установок до прямого використання фрезерного торфу, в Інституті технічної теплофізики НАН України були розроблені технологія і пристрій для його попередньої термохімічної переробки [2]. Вибрана схема процесу визначається як високотемпературна газифікація в потоці газового теплоносія. Доцільність її вибору обумовлена:

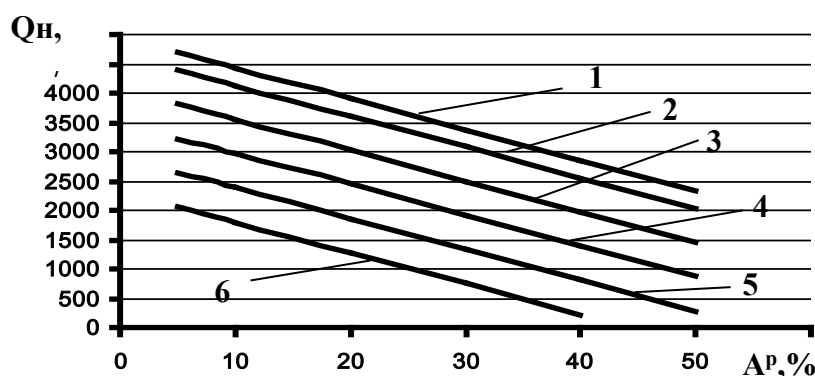
- а) можливістю термохімічної переробки полідисперсного палива з



- високою вологістю і зольністю, без обмежень за ступенем газифікації, температурою шлакування, здатності до спікання і т. ін.;
- б) можливість проведення високотемпературного процесу і отримання продуктів газифікації з високою температурою, які без охолодження можуть спалюватися в існуючих теплоенергетичних установках у режимі самозаймання;
- в) можливість регулювання теплоти згоряння горючого газу за рахунок горючих компонентів газового теплоносія отриманих при коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha$  менше одиниці.

**Таблиця 1 - Розрахункові дані залежності теплоти згоряння фрезерного торфу від його зольності ( $A^p, \%$ ) і вологості ( $W^p, \%$ )**

Зольність $A^p, \%$	Теплота згоряння торфу, $Q_n^p$ ккал/кг, різної вологості, $W^p \%$					
	5%	10%	20%	30%	40%	50%
5	4686	4394	3810	3226	2642	2058
10	4424	4132	3548	2964	2380	1796
20	3900	3608	3924	2440	1856	1272
30	3376	3084	2500	1916	1332	748
40	2852	2560	1976	1392	808	224
50	2328	2036	1452	868	284	



**Рисунок 1 - Залежність теплоти згоряння фрезерного торфу від його зольності ( $A^p, \%$ ) і вологості ( $W^p, \%$ ): 1 – 5%; 2 – 10%; 3 – 20%; 4 – 30%; 5 – 40%; 6 – 50%**

Додаткові переваги способу пов'язані з високою температурою процесу, що інтенсифікує перетворення вихідного палива в горючий газ із зменшеним вмістом смол, які суттєво ускладнюють його очистку і використання.

До недоліків можна віднести: підвищені енергетичні витрати на ведення процесу, а також необхідність застосування жаростійких матеріалів через високі температури процесу і агресивність середовища.





В основі запропонованого процесу термохімічної переробки лежить характерна особливість твердого органічного палива, а саме, здатність до термічного розкладу його органіки при нагріванні. При цьому, з палива видаляється волога, леткі речовини (як такі, що конденсуються, так і такі, що не конденсуються), а також твердий залишок (суміш коксу і мінеральних домішок). Приблизна послідовність термічного розкладу торффу наведена в таблиці 2 [3].

**Таблиця 2 - Послідовність термічного розкладу торффу**

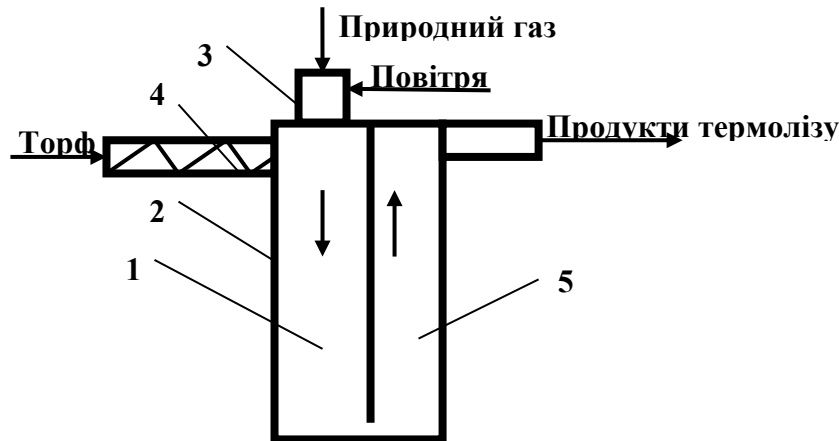
Температура, °C	Процес
До 100...105	Видалення гігроскопічної вологи
100...160	Видалення пірогенетичної вологи і метилового спирту
До 200	Переважає виділення CO <sub>2</sub> і невеликої кількості CO, оцтової кислоти та смоли
275...300	Початок екзотермічних реакцій розкладу, виділення CO <sub>2</sub>
300	Точка активного розкладу, початок виділення CH <sub>4</sub>
475	Виділення водню
500	Остаточне виділення смоли
750	Остаточне виділення аміаку

При цьому, орієнтовний вихід продуктів термолізу торффу (в % на горючу масу), наприклад, при температурі процесу 850 °C, є: вода - 19...24; кислота - 0,9...1,1; газ - 20...27; смола - 9...20; зола - 8...11; кокс - 20...60 [4].

Згідно теорії термічної переробки твердих палив розробленої З.Ф. Чухановим [5], основними факторами, що впливають на ефективність розкладу є: швидкість прогріву частинок палива до заданої температури, розмір та час їх перебування в реакційній зоні. Так, згідно даних термічного розкладу торффу в потоці газового теплоносія, приведених в роботі [6] видно, що при часі нагрівання 0,25...0,45 с і температурі ~ 500°C, з частинок торффу 105...150 мкм виділяється біля 70% летких речовин, в той час, як під час нагрівання до 350...400 °C кількість летких складає всього близько 35%.

Проведені нами аналітичні і експериментальні роботи показали, що ефективність термохімічної переробки полідисперсного палива також залежить від характеристик газового теплоносія, який крім теплообмінних функцій, виконує функцію транспортуючого агенту [7]. Тому, розрахунок газогенератора термохімічної переробки полідисперсного твердого палива у потоці газового теплоносія, здійснюється з врахуванням його характеристик.

Розрахункова модель такого газогенератора наведена на рисунку 2.



**Рисунок 2 - Розрахункова модель газогенератора термохімічної переробки фрезерного торфу в потоці високотемпературного газового теплоносія**

В наведеній схемі, процес термохімічної переробки фрезерного торфу здійснюється наступним чином. В спадному каналі (1) газогенератора (2), за допомогою газового пальника (3), формується потік високотемпературних продуктів згоряння природного газу, в який гвинтовим живильником (4), подається фрезерний торф. За рахунок тепла газового теплоносія відбувається швидкісний його нагрів до температури 600...650° С. Внаслідок такого «теплого удару» відбувається термічний розклад органічної частини торфу, на леткі речовини і твердий коксовий залишок. Розжарені продукти термохімічної переробки, по підйомному каналу (5), надходять у топку енерготехнологічної установки, де спалюються в режимі самозаймання. Час перебування частинок торфу, в зоні термохімічної переробки, регулюється швидкістю потоку і довжиною шляху їх витання в каналах газогенератора.

Визначення матеріальних потоків і основних конструктивних особливостей газогенератора здійснюється на основі теплового балансу даного процесу, де вихідним паливом для розрахунку вибрано фрезерний торф з вологістю  $W^p = 40\%$ . Температуру продуктів газифікації, на виході з газогенератора, прийемо на рівні 600 °С. Тоді, витрати тепла на нагрівання 1кг торфу від  $t_1 = 20$  °С до  $t_2 = 600$  °С будуть визначені за формулою:

$$Q_1 = \left[ \frac{W^p}{100} \times (c_v \times (t_2 - t_1) + r + c_{n(t_2)} \times t_2 - c_{n(t_3)} \times t_3) + \left(1 - \frac{W^p}{100}\right) \times c_T \times (t_2 - t_1) \right] \times 4,186 \quad (1)$$

де:  $c_v = 1$  ккал/(кг·К) – теплоємність води;  $t_3 = 100$ °С – температура кипіння води;  $r = 539$  ккал/кг – теплота випаровування води;  $c_{n(t_i)}$  – середня теплоємність пари від 0°С до  $t_i$  по [8]:  $c_{n(t_2)} = 0,48$  ккал/(кг·К);  $c_{n(t_3)} = 0,447$  ккал/(кг·К);  $c_T = 0,27$  ккал/(кг·К) – теплоємність сухої маси торфу.

Дані розрахунків необхідної кількості теплоти, для термолізу торфу вологістю 25...60%, в інтервалі температур 300...800°С наведені в таблиці 5.

Прийемо, що для компенсації теплових витрат використовуються продукти згоряння природного газу. Кількість теплоти, яка виділиться під час згоряння 1 кмоль природного газу (теплотою згоряння  $Q_{н^p} = 8100$  ккал/нм<sup>3</sup>). буде становити:



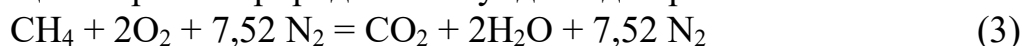
$$Q_2 = Q_y^h \times \eta \times V \times 4,186 = 8100 \times 0,97 \times 22,4 \times 4,186 = 737 \times 10^3 \text{ кДЖ / кмоль}; \quad (2)$$

де:  $\eta = 97\%$  - ККД камери згоряння;  $V = 22,4 \text{ нм}^3 / \text{кмоль}$

**Таблиця 5 - Розрахункові дані необхідної кількості теплоти для термохімічної переробки торфу, в залежності від його вологості і температури процесу**

Температура процесу, °С	Необхідна кількість теплоти, кДЖ / кг, при різній вологості торфу, W <sup>p</sup> , %							
	25	30	35	40	45	50	55	60
300	1025	1162	1298	1436	1573	1710	1847	1984
400	1158	1302	1441	1582	1724	1865	2006	2147
500	1293	1438	1584	1729	1874	2020	2165	2311
600	1427	1576	1725	1835	2025	2175	2324	2474
700	1561	1714	1868	2022	2175	2330	2458	2637
800	1694	1852	2010	2168	2326	2484	2643	2800

При  $\alpha = 1$  процес згоряння природного газу іде згідно рівняння:



Тобто, при спалюванні 1 кмоль газу утворюється: 44 кг CO<sub>2</sub>, 36 кг H<sub>2</sub>O, і 210,5 кг N<sub>2</sub>. Ентальпія продуктів згоряння при  $t_2 = 600$  °С складе:

$$Q_3 = [44 \times c_{\text{CO}_2(t_2)} + 36 \times c_{\text{H}_2\text{O}(t_2)} + 210,5 \times c_{\text{N}_2(t_2)}] \times t_2 \times 4,186 \text{ кДЖ / кмоль} \quad (4)$$

Підставивши всі значення в формулу (4) отримаємо:

$$Q_3 = (44 \cdot 0,248 + 36 \cdot 0,48 + 210,5 \cdot 0,257) \cdot 600 \cdot 4,186 = 206,68 \cdot 10^3 \text{ кДЖ / кмоль}$$

Тоді, необхідні питомі витрати природного газу, для термохімічної переробки 1 кг фрезерного торфу вологістю 40%, складуть:

$$g_{\text{пг}} = \frac{Q_1}{(Q_2 - Q_3)} = \frac{1835}{(737 \times 10^3 - 206,68 \times 10^3)} = 0,00346 \text{ кмоль / кг} \quad (5)$$

Якщо прийняти продуктивність установки по торфу  $G_T = 100$  кг / год, то загальні витрати природного газу будуть становити:

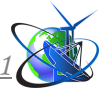
$$G_{\text{пг}} = g_{\text{пг}} \times G_T \times V = 0,00346 \times 100 \times 22,4 = 7,75 \text{ нм}^3 / \text{год} \quad (6)$$

А необхідна кількість повітря, для спалювання газу при  $\alpha = 1$  складе:

$$G_{\text{пов}} = G_{\text{пг}} \times \alpha \times g_{\text{пов}} = 7,75 \times 1 \times 9,6 = 74,4 \text{ нм}^3 / \text{год} \quad (7)$$

де -  $g_{\text{пов}} = 9,6 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3$  – теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 нм<sup>3</sup> природного газу.

Проте, під час спалювання природного газу з  $\alpha = 1$ , калориметрична температура горіння становить 2030°С, що є загрозою щодо: плавлення золи, шлакування поверхонь каналів, порушення аеродинаміки потоку і стійкості



футеровки та інших матеріалів стінок газогенератора. В зв'язку з цим, процес термохімічної переробки ведеться при температурі 1000...1100 °С. Для цього, газовий теплоносії утворюється під час спалювання природного газу з  $\alpha < 1$ . Технологія отримання такого теплоносія і його характеристики розглянуті авторами в роботі [7].

Кількість теплоносія і теплоти, що надходить в газогенератор, повинна бути достатньою для підігріву палива та перегріву водяної пари до температури 600...650°C, а також для транспортування частинок палива в його каналах.

Приємо, що характер зміни температури газу близький до експоненціального і визначається за формулою:

$$T_g(X) = a + b \times e^{-cx} \quad (8)$$

Тоді рівняння нагріву частинки торфу (і) фракції матиме вигляд, як для термічно тонких сферичних частинок [9]:

$$\frac{dT_i}{dX} = A_i(a + b \times e^{-cx} - T_i); \quad A_i = \frac{6 \times Nu_i \times \lambda_g}{c_T \times \rho_T \times \delta_i^2 \times u_i} \quad (9)$$

$\lambda_g$  – коефіцієнт теплопровідності газу;  $c_T$  і  $\rho_T$  – теплоємність і густина частинки;  $\delta_i^2$ ;  $u_i$  – розмір і швидкість частинки.

Інтегруючи рівняння нагріву (8) з початковими умовами  $x = 0$ ,  $T_i = T_0$ ,

маємо:

$$T_i(X) = a + (T_0 - a - \frac{A_i \times b}{A_i - c}) \times e^{-A_i X} + \frac{A_i \times b}{A_i - c} \times e^{-cx} \quad (10)$$

Розрахунок проведемо для підйомного каналу довжиною  $\chi_f = 2$  м при:

$T_0 = 300^\circ\text{C}$ ;  $a = 600^\circ\text{C}$ ;  $b = 400^\circ\text{C}$ ;  $c = 1,3$  (тоді  $T_g(0) = 1000^\circ\text{C}$ ,  $T_g(\chi_f) = 630^\circ\text{C}$ )

Розглянемо 4 фракції з розміром ( $\delta_i$ ) і їх масовими долями ( $\gamma_i$ ):

i	1	2	3	4
$\delta_i, \text{мм}$	2,8	1,5	0,65	0,1
$\gamma_i$	0,13	0,15	0,48	0,24

Число Нусельта знайдемо як  $Nu_i = 2 + 0,6Re_i^{1/2}Pr^{1/3}$  (число Рейнольдса розраховується по стану витання частинки). Оскільки газифікація дрібнозернистого торфу здійснюється безпосередньо в потоці газового теплоносія, то необхідною умовою транспортуючої здатності потоку є його швидкість, яка повинна бути вище критичної швидкості (швидкості витання частинки). Стан витання частинок різного розміру при температурі  $T_g$  визначимо по формулам, рекомендованим в [10]. Результати розрахунків наведено в таблиці 6, де для спрощення розрахунків не враховуємо подрібнення частинок у потоці, що є певним запасом в реальних умовах.

Необхідно зазначити, що збільшення критичної швидкості призводить до уповільнення дифузії газів до поверхні частинки торфу, що уповільнює сам процес газифікації. Цей недолік дещо нівелюється збільшенням і кращим використанням внутрішньої реакційної поверхні частинки торфу, а також завдяки інтенсивному озоленню і відновленню зовнішньої реакційної поверхні.


**Таблиця 6 - Швидкість витання частинок торфу в залежності від їх розміру**

$\delta_i, \text{мм}$	1	2	3	5
$W_i \text{ м/с}$	4,05	8,1	12,2	19,5
Re	36,5	146	328	883

Приймаючи густину вологого торфу  $\rho_t^1 = 850 \text{ кг / м}^3$ , в розрахунках використовуємо густину сухого торфу:

$$\rho_T = \rho_T^1 \left(1 - \frac{W^p}{100}\right) = 510 \text{ кг / м}^3 \quad (11)$$

Зменшення густини частинок торфу, внаслідок виходу летких не враховуємо, що також може бути певним запасом в реальних умовах процесу.

Підстановка даних дає:  $A_1 = 0,248 \text{ 1/м}$ ;  $T_1(\chi_f) = 437 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $A_2 = 0,342 \text{ 1/м}$ ;  $T_2(\chi_f) = 510 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $A_3 = 0,865 \text{ 1/м}$ ;  $T_3(\chi_f) = 628 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нагрів фракції 4 можна не розраховувати, оскільки видно, що  $T_4(\chi_f) \approx 630^\circ\text{C}$ . Тоді середня температура частинок торфу на виході газогенератора становитиме  $590^\circ\text{C}$ . Розрахунки проведені при швидкості газового потоку  $u_g = 12 \text{ м/с}$ . Якщо ж швидкість потоку менша, то частинки торфу грітимуться швидше. Деякі результати розрахунків темпу прогріву частинки торфу, в залежності від розміру і часу її перебування в реакційній зоні, наведені у таблиці 7, а виходу летких, в залежності від температури процесу і часу її перебування в реакційній зоні (в % на суху масу) в таблиці 8.

**Таблиця 7 - Темп прогріву частинки торфу до  $T_g = 630^\circ\text{C}$** 

Розмір, $\delta_i, \text{мм}$	Час перебування частинки торфу в реакційній зоні ( $\tau, \text{с}$ )				
	0,5	1	2	3	5
1	429	552	596		
2	242	386	524	573	
3	165	283	433	512	575

**Таблиця 8 - Розрахункові дані виходу летких з торфу в залежності від температури процесу і часу його перебування в реакційній зоні (в % на суху масу)**

Температура процесу, $^\circ\text{C}$	Час перебування торфу в реакційній зоні, с					
	5	10	15	20	25	30
300	0,2	0,34	0,44	0,51	0,57	0,61
400	0,41	0,58	0,66	0,69	0,71	0,72
500	0,58	0,69	0,72	0,723	0,724	0,725
600	0,68	0,722	0,723	0,724	0,725	
700	0,71	0,724	0,725			
800	0,71	0,725				



Результати розрахунків показують, що нагрів мілких частинок проходить достатньо швидко. З даних наведених в таблиці 8 видно, що при температурі 600°C, в межах апарату (за 5...10 с), з торфу встигає повністю випаруватися вода і вийти (повністю чи частково) леткі.

Як вище було зазначено, в запропонованій схемі термохімічної переробки дрібнозернистого палива, газовий потік, крім теплообмінних функцій, виконує функцію транспортуючого агента. Остання, в значній мірі, залежить від розмірів каналу реакційної зони. Приклад розрахунку проведено для підйомного каналу (довжиною 2м) і для частинок розміром до 3мм, які рухаються з швидкістю  $u_g = 12$  м/с. Згідно раніше наведених розрахунків, маса 1 кмоль продуктів згоряння природного газу становить 290,5кг. Тоді, враховуючи загальні витрати природного газу  $G_{пр} = 7,75 \text{ м}^3 / \text{год}$ , кількість продуктів згоряння становитиме:

$$G_{пз}^1 = \frac{290,5 \times G_{пр}}{V} = \frac{290,5 \times 7,75}{22,4} = 100,5 \text{ кг} / \text{год} \quad (12)$$

А з урахуванням вологи торфу:

$$G_{пз} = G_{пз}^1 + \left(\frac{W^p}{100}\right) \times G_T = 100,5 + (40/100) \times 100 = 140,5 \text{ кг} / \text{год} \quad (13)$$

Тобто, масова витратна концентрація сухого торфу складе:

$$\mu = G_T \times \left(1 - \frac{W^p}{100}\right) \times G_{пз} = 100 \times (1 - 40/100) / 140,5 = 0,427 \text{ кг} / \text{кг} \quad (14)$$

А загальний потік продуктів термохімічної переробки фрезерного торфу, з врахуванням температури 630°C складе  $512 \text{ м}^3 / \text{год}$  ( $0,142 \text{ м}^3 / \text{с}$ ).

Тоді внутрішній діаметр підйомного каналу повинен становити [11]:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{V_t}{U_g}} = 1,13 \sqrt{\frac{0,142}{12}} = 0,124, \text{ м} \quad (15)$$

де:  $V_t$ - об'ємна витрата потоку при даній температурі,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ,  $U_g$  - швидкість потоку, м /с.

Таким чином, при загальній довжині каналів газогенератора 4 м і середній швидкості потоку 8 м/с, час перебування складе 0,5с, що за даними наведеними в **табл. 8**, є цілком достатнім для виділення летких, в кількості 65...70% від сухої маси торфу. Внаслідок такої термохімічної переробки леткі продукти і високореакційний коксовий залишок, з температурою 600...650°C надходять у топку енерготехнологічної установки, де з високою ефективністю спалюються в режимі самозаймання.

### Висновки

1. Розроблена методика розрахунку процесу термохімічної переробки полідисперсного твердого палива в потоці високотемпературного газового теплоносія дозволяє розраховувати газогенератори різної продуктивності.

2. Приведено приклад розрахунку основних технологічних та конструктивних параметрів пристрою термохімічної переробки фрезерного торфу.

3. Отримані результати показали, що при застосуванні процесу попередньої термохімічної переробки, є можливість прямого використання



фрезерного торфу в системах живлення існуючих теплоенергетичних установок, а це дозволить зменшити витрати традиційних викопних палив і скоротити забруднення навколишнього середовища.

### Література

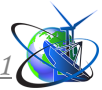
1. "Торф Рівненщини" Регіональна програма розвитку торф'яної галузі на 2001 рік та на період до 2010 року.
2. Носач В.Г., Басок Б.И., Родионов В.И., Скляренко Е.В. Эффективность замены природного газа фрезерным торфом в существующих отопительных котлах. Промышленная теплотехника. – 2010.- т.32, №6. –С.42.
3. Федосеев С.Д., Чернышев А.Б. Полукоксование и газификация твердого топлива. М.; Гостоптехиздат. – 1960. – 327 с.
4. Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. и др. Основы практической теории горения. Л.; Энергоатомиздат. 1986. – 312 с.
5. Чуханов З.Ф. Основы теории термической переработки топлив. Изв. АН СССР. ОТН. № 8. 1954. - С.7-22.
6. Баярс В.Я., Лапушонок Ю.К., Далбинь Я,Я, Энерготехнологическое использование торфа с применением газового теплоносителя. В кн. Новые методы рационального использования местных топлив. Рига.1959.- 204 с.
7. Скляренко Є. В., Воробйов Л.Й. Дослідження характеристик газового теплоносія для термохімічної конверсії рослинної біомаси. Modern engineering and innovative technologies. 2020, №12, Part 1. P.71-81.
8. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Кузнецов Н.В. (ред.) и др. Энергия. Москва. 1973. – 296 с.
9. Шрайбер А.А., Глянченко В.Д. Термическая обработка полидисперсных материалов в двухфазном потоке . – Киев: Наук. думка, 1976. – 165 с.
10. Бабуха Г.Л., Рабинович М.И. Механика и теплообмен потоков полидисперсной газозвеси. – Киев: Наук. думка, 1969. -218 с.

***Abstract.** The prospects for the use of milled peat by its preliminary thermochemical processing are considered. The technological scheme of the process of thermochemical processing of milled peat in the flow of high-temperature gas coolant, the main aspects of operation and the calculation method are presented. The procedure for calculating the main technological and design characteristics is considered on the example of a gas generator with a capacity of 100 kg / h. The efficiency of using the proposed technological scheme is due to the possibility of using milled peat in existing thermal power units, which makes it possible to reduce the consumption of traditional fossil fuels and reduce harmful emissions into the environment.*

***Key words:** milling peat, thermochemical processing, gas generator calculation method.*

*Стаття підготовлена у рамках виконання науково–дослідної відомчої тематики ІТТФ НАН України, тема "Розвиток методів та засобів підвищення екологоенергетичної ефективності в газотурбобудуванні та теплоенергетиці" (шифр 1.7.1.896).*

Стаття відправлена 12.04.2022р.  
© Скляренко Є.В., Воробйов Л.Й.



УДК 621.01

**TO CALCULATION OF HYDROGEN STRESSES IN METAL STRUCTURES  
ДО РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНЬ ВІД ВОДНЮ В МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЯХ****Stashchuk M.G. / Стащук М.Г.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-3368-2613

*Institute of Physics and Mechanics G.V. Karpenko, Lviv, Naukova, 5, 79060**Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка, Наукова, 5, 79060***Zhiguts Yu.Yu. / Жигуц Ю.Ю.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-7477-7619

*Uzhhorod National University, Uzhhorod, Pidgirna, 46, 88000**Ужгородський національний університет, Ужгород, вул. Підгірна 46, 88000***Lazar V.F. / Лазар В.Ф.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-2457-571X

*Mukachevo State Universit, Mukachevo, Uzhhorodsjka, 26**Мукачівський державний університет, Мукачєво, вул. Ужгородська, 26, 89600*

**Annotation.** *The problem of estimating the basic engineering parameters (strength, reliability, etc.) of metal structures that are subject to corrosion under the simultaneous action of mechanical force factors, is currently an urgent problem of industrial operation. The interaction of hydrogen and stresses in metal structures is still poorly studied. When a metal body is flooded, the linear dimensions of its elements and volume change. At the same time, changes in body volume, under certain conditions, cause internal tensions. We assume that the interaction between hydrogen atoms is insignificant. It is necessary to establish the stress-strain state of the metal body due to the concentration of hydrogen in it. The presented work is devoted to this.*

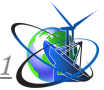
**Keywords:** *constructions; deformation; tension; hydrogen concentration; finite element method; solid cylinder; cylindrical sample with a recess.*

**Introduction.**

Hydrogen significantly affects the strength and durability of metal structures. This is due to its unobstructed permeability through the crystal lattice of the metal. In addition, hydrogen atoms in metals cause the expansion of the crystal lattice [1]. Studies of flooding and dehydration of metals indicate the emergence of hydrogen concentration inhomogeneity's [1], which initiate stress in metals from changes in hydrogen concentration. Therefore, taking into account the internal stresses of hydrogen is relevant for the development of modern technologies in the design of structures that are operated in interaction with hydrogen-containing media. It should be noted that in such studies, attention was paid to the unilateral effect of mechanical stresses on the distribution of hydrogen concentration [2,3]. At the same time, the improvement of these developments requires detailed studies of the stress-strain state caused by hydrogen. In [4], an estimate of the stress field caused by diffuse hydrogen atoms in a solid metal cylinder is presented. The approach proposed in this paper is used to estimate the stress field for infinite bodies.

**Aim of work.** The authors set out to propose a mathematically sound method for estimating the stress field for finite bodies, taking into account the influence of hydrogen, testing it in experimental conditions, and establishing compliance.





**Materials and methods. Initial equations and schemes for solving the problem.** Hydrogen saturation of a metal body changes the linear dimensions of its elements and volume [1]. Every change in body volume under certain conditions causes internal tensions. We believe that the interaction between hydrogen atoms is insignificant. We will establish the stress-strain state of a metal body, which is due to changes in the concentration of hydrogen in it, taking into account that the parameter  $\alpha_{c_H}$  is the coefficient of concentration expansion [1]. For an isotropic homogeneous body  $\alpha_{c_H}$ , the parameter does not depend on the direction of the element  $ds$  (edges of the parallelepiped of the lattice cell). Assuming that it  $\alpha_{c_H}$  does not depend on the value of the concentration, it will be a constant value. In this case, the initial infinitesimal rectangular parallelepiped remains rectangular. Changing the hydrogen concentration  $C_H$  by the value over time  $\Delta t$  will lead to an increase in hydrogen deformations. Using the law of superposition, the increase in total deformations is equal to the sum of the increments of deformations caused by changes in hydrogen concentration and deformations due to external loads and taking into account the solution of the Fick equation [3]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla(D\nabla C) + \nabla\left(\frac{DV_H}{RT}\nabla\sigma_h\right), \tag{1}$$

where  $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$  – the Hamilton operator;  $D$  – diffusion coefficient;  $R$  – universal gas constant;  $T$  – absolute temperature;  $V_H$  – partial molar volume of hydrogen in the metal;  $\sigma_h$  – hydrostatic component of the stress tensor in the metal;  $t$  – time parameter.

Equation (3) is solved under the following initial conditions  $C(x,y,z,t)|_{t=0} = C_0$ . On the part  $S_c$  of the surface, we set the value of the hydrogen concentration and on the other part the hydrogen flux  $\varphi$ , moreover  $S_c \cup S_N = S$ .

**Results and discussion. Calculation by the finite element method of hydrogen stresses in a metal body of limited size.** It is almost impossible to obtain an analytically closed solution of equation (1) for finite domains. To solve it, we use the finite element method and divide the studied body into  $n$  finite elements. We will look for the solution of equation (1) in the form of a schedule by basic functions  $N_i$ :

$$C(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^m N_i(x, y, z)C_i(t) = [N]^T [C], \tag{2}$$

where  $N_i$  – function functions [5];  $m$  – the number of nodes in the element;  $C_i(t)$  – the value of the hydrogen concentration in the  $i$  node of the finite element.

After recording the hydrogen concentration in the form of (2) and simple mathematical transformations, we obtain global finite element equations for calculating the hydrogen concentration in the nodes of finite elements:

$$[M]\left[\frac{\partial C}{\partial t}\right] + [K_H][C] = [F], \tag{3}$$

where  $[M]$  and  $[K_H]$  – respectively, the matrix of capacity concentration and diffusion;  $[F]$  – diffusion flow vector.

According to [5], equation (3) is written in the form



$$\begin{bmatrix} M_{cc} & M_{ca} \\ M_{ac} & M_{aa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial C_c / \partial t \\ \partial C_a / \partial t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{1cc} & K_{1ca} \\ K_{1ac} & K_{1aa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_c \\ C_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_c \\ F_a \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{2cc} & K_{2ca} \\ K_{2ac} & K_{2aa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_c \\ C_a \end{bmatrix}, \quad (4)$$

where the index "c" is associated with known concentrations (or temperatures), and the index "a" – with unknown.

If we assume that the values  $C_c$  do not depend on time, then the unknown values  $C_a$  of hydrogen concentration (in subsequent entries, the index "a" will be omitted) can be found from equation (5) using the inverse Euler method [5]:

$$[M_{aa}] \left[ \frac{\partial C}{\partial t} \right] + [K_{1aa}] [C] = [F_a] - [K_{1ac}] [C_c] - [K_{2ac}] [C_c] - [K_{2aa}] [C] \quad (5)$$

$$\left[ \frac{[M_{aa}]}{\Delta t} + [K_{aa}] \right] [C]_{t+\Delta t} = [F_a] + \left( \frac{[M_{aa}]}{\Delta t} - [K_{2aa}]_t \right) [C]_t - ([K_{1ac}] + [K_{2ac}]_t) [C_c] \quad (6)$$

Equation (6) makes it possible to calculate the value of hydrogen diffusion in the studied body. The principle of virtual work for quasi-static equilibrium equations in stepwise formulation for the moment can be written as follows:

$$\int_V \delta([\varepsilon]^T)^{t+\Delta t} [\Delta\sigma] dV = \int_{\Gamma} \delta([u]^T)^{t+\Delta t} [\Delta p] d\Gamma + \int_{\Gamma} \delta([u]^T)^{t+\Delta t} \{p\}^t d\Gamma - \int_V \delta([\varepsilon]^T)^{t+\Delta t} ([\sigma]^t) dV, \quad (7)$$

where,  $[\Delta\sigma]$ ,  $[\Delta p]$  respectively, the vectors of Cauchy stress increases and surface forces over time  $\Delta t$ ;  $\delta([\varepsilon])^{t+\Delta t}$  and  $\delta([u])^{t+\Delta t}$  – virtual variables of total deformations and displacements at the time  $t + \Delta t$ ;  $V$  and  $\Gamma$  – volume and surface of the body.

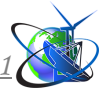
To solve the problem, we use the finite element method with the breakdown of the integration domain  $V$ . Then we write the vectors of the displacement fields through the shape functions  $N_i$  and the vector of nodal displacements  $[u]$ . If we take into account relation (1) and assume that the vectors  $[p]$  and  $[\Delta p]$  levels are zero, the increase in stress can be calculated as follows:

$$[K] = \int_{V^e} [B]^T [D] [B] dV, [F_H]_{t+\Delta t} = \int_{V^e} [B]^T [D] [\varepsilon_H]_{t+\Delta t} dV, [F_S]_t = \int_{V^e} [B]^T [\sigma]_t dV \quad (8)$$

where  $[D]$  – the elastic matrix.

Using numerical solutions of finite element equations (6) and (7), we find the stresses that are caused by changes in the concentration of hydrogen in the material. Let's illustrate this on cylindrical samples. The first template is a solid cylinder of radius  $r_1 = b$  and length  $2h$ . The second template is a cylinder of radius  $r_1 = b$  and length  $2h$ , which has a groove in the middle with a radius  $R$ , and the radius of the jumper is equal  $a$ .

Note that for samples 1 and 2 we consider cases when they are free and clamped at one end. In the case of specimen-free specimens, consider only half of them. Also in the calculations, we assume that the hydrogen flow is zero. Boundary and initial conditions for all cases are those  $C(r, z, 0) = C_0, n p u r, z \in S_1, C(r, z, t) = C_c, n p u r, z \in L_1$ , where  $S_1$  – the area of the axial section of each of the cylinders;  $S_2$  – lines formed by the axial section of the surface and the end (unfixed) of the cylinder. The calculations were performed for two cases of boundary conditions: flooding ( $C_0 = 0, C_c = 5 \text{ mol/m}^3$ )

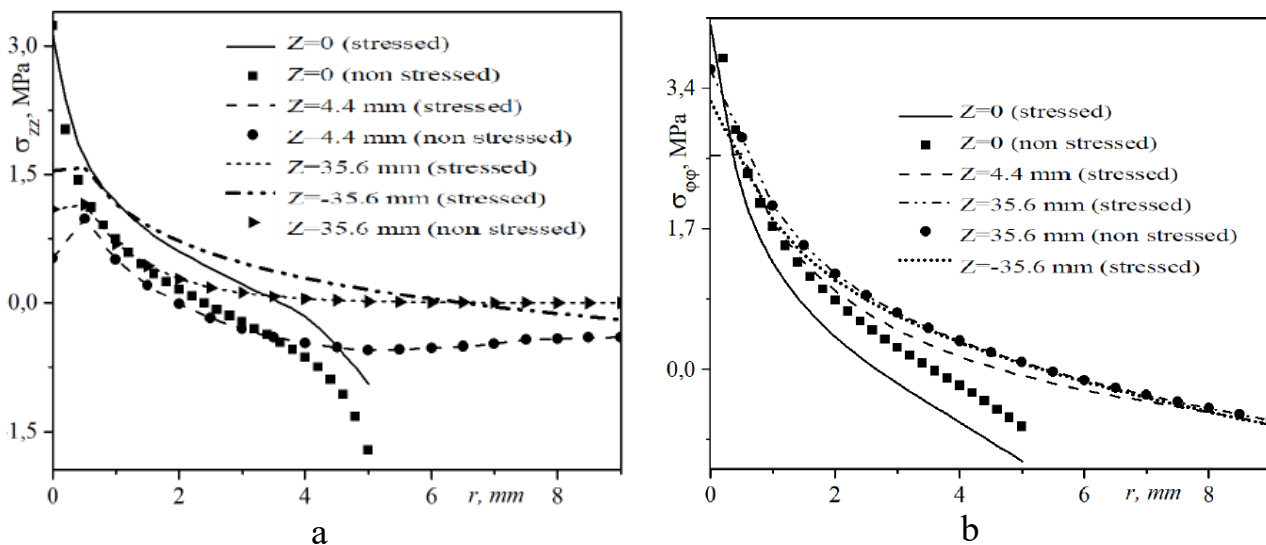


and dehydration ( $C_0 = 5 \text{ mol/m}^3, C_c = 0$ ) of the templates. In the future, all calculations were performed with the following parameters: Jung modules  $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ , Poisson's ratio  $\nu = 0.3$ ,  $D = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ,  $\text{m}^3/\text{mol}$ ,  $T = 295 \text{ K}$ ,  $a = 5 \text{ mm}$ ,  $b = 10 \text{ mm}$ ,  $R_1 = 2.5 \text{ mm}$ ,  $h = 40 \text{ mm}$ ,  $h_1 = 9 \text{ mm}$ .

To solve equations (6) and (8), a set of programs was created, which found the change in hydrogen concentration and the corresponding increase in stress for any time [4] when hydrogen saturation and dehydration of a long cylinder. There is an almost complete coincidence of the results obtained with the help of the program and [4]. The unclamped cylinder was divided into 900 four-node elements (966 nodes). Accordingly, for a clamped cylinder 1800 elements (1911 knots). The calculations were performed for the time of hydrogen saturation (dehydration) for 100 hours. Stresses  $\sigma_{rr}$  during hydrogen saturation and dehydration are equal in absolute value and differ only in sign. Analysis of the obtained numerical results showed the same results for other stresses in the whole time field.

The authors investigated the nature of the change in the stress distribution  $\sigma_{rr}$  for different sections of both clamped and unclamped cylinders, as well as for a cylinder with a recess, which is located in the middle. In this case,  $h_2 = h$ , and the unclamped cylinder was divided into 1022 four-node elements (1098 nodes), and pinched by 2058 elements (2186 nodes). Analysing the obtained data, we can conclude that in contrast to the stresses  $\sigma_{rr}$  stresses  $\sigma_{zz}$  and  $\sigma_{\phi\phi}$  in this section are different in magnitude for clamped and unclamped cylinders (Fig. 1a and 1b). To obtain the above graphic material and the corresponding calculations used its own computer program [6].

From the graphical data presented in Fig. 1a and Fig. 1b, it can be concluded that for all other sections these stresses are the same for both cylinders. But the stresses  $\sigma_{\phi\phi}$  for sections that do not belong to the recess are almost indistinguishable.



**Figure 1 - Comparison of stress distribution: a)  $\sigma_{zz}$  for clamped and unclamped cylinders with a recess in different sections, b)  $\sigma_{\phi\phi}$  for clamped and unclamped cylinders with a recess in different sections. In all cases  $t = 100$  hours**



This cannot be said for stresses  $\sigma_{zz}$ . As can be seen (Fig. 1a), these stresses differ in magnitude for different cross-sections.

**Conclusions.** Therefore, analytical relations for the calculation of stress and strain components in metals with hydrogen concentrations are established. Numerical calculations of the distribution of such components and the concentration of hydrogen inside the cylinder of finite length are performed. In the process of dehydration of the cylindrical specimen, a compression zone is observed inside it, and tensile stresses are present near the surface. During flooding, the stress pattern is opposite (there is a uniform tensile zone inside the sample). At the surface of the cylindrical sample, the compressive stresses become more intense.

## References

1. Водородные концентрационные напряжения: природа, экспериментальные проявления, значимость для техники / В.А. Гольцов, Ж.Л. Глухова, Е.Н. Любименко, Т.А. Щеголева // Наук. пр. ДонНТУ. Металургія. – 2009. – Вип. 11(159). – С. 165-173.
2. Staschuk M.H. Mutual influence of stress-strain state and hydrogen concentration in the metal-hydrogen system // Material Science. – 2011. – 47. – №4. – P. 400-508.
3. Numerical analysis of hydrogen diffusion problems using the finite element method / H.Kanayama, T.Shingoh, S.Ndong-Mefane et al. // J. Theoretical and Applied Mechanics Japan. – 2008. – 56. – P. 389–400.
4. Staschuk M.H. Influence of hydrogen concentration on the stresses in a solid metallic cylinder // Material Science. – 2017. – 53. – №6. – P. 824-830.
5. Hutton D.W. Fundamentals of finite element analysis. – New York: McGraw-Hill, 2004. – 494 p.
6. Комп'ютерна програма «Програма розрахунку напружено-деформованого стану матеріалів, які знаходяться у воденьвмісному середовищі під дією температури» (STRES\_HYDRO\_TEMP)/ Бойко В.М., Іваницький Я.Л., Стащук М.Г.// Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 95246 видане Міністерством розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України 10.01.2020 р.

***Анотація.** Проблема оцінки основних інженерних параметрів (міцності, надійності та ін.) металевих конструкцій, які зазнають корозійного впливу при одночасній дії механічних силових факторів, на даний момент є актуальною проблемою промислової експлуатації. Мало вивченими ще залишаються питання взаємовпливу водню та напружень в металоконструкціях. З наводненням металевого тіла змінюються лінійні розміри його елементів та об'єм. Водночас зміна об'єму тіла, за певних умов, викликає внутрішні напруження. Якщо прийняти, що взаємодія між атомами водню незначна, то головною задачею стає встановлення напружено-деформованого стану металевого тіла, який обумовлений концентрацією водню у ньому. Цьому і присвячена представлена робота.*

***Ключові слова:** конструкції; деформації; напруження; концентрація водню; метод скінченних елементів; суцільний циліндр; циліндричний зразок з виточкою.*

Стаття відправлена: 06.03.2022 р.

© Стащук М.Г., Жигуц Ю.Ю., Лазар В.Ф.



УДК 666.9.022 : 691.541

**CEMENT USING TRANSCARPATHIAN PERLITE**  
**ЦЕМЕНТ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАКАРПАТСЬКОГО ПЕРЛІТУ****Melnichenko M.V./Мельниченко М.В.****Ivanynuk I.V./Іванинюк І.В.***Students/Студенти***Gluschenko D.K./Глушенко Д. К.***Master/Магістр***Chernyak L.P./Черняк Л. П.***Dr.Professor/д.т.н., професор*

ORCID: 0000-0001-8479-0545

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
37 Peremogy ave., Kyiv, Ukraine, 03056**Національний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сікорського"  
пр-т Перемоги 37, м. Київ, Україна, 0356*

**Анотація.** Наведено результати досліджень силікатних систем із закарпатським перлітом як сировини для виготовлення мінерального в'язучого матеріалу. Показано особливості хіміко-мінералогічного складу вихідної сировини як фактору фазоутворення цементного клінкеру. Виконано комп'ютерні розрахунки та визначено складу сировинних сумішей на основі системи крейда-глина-перліт. Показано особливості фазового складу та технологічних властивостей мінерального в'язучого матеріалу в інтервалі максимальних температур випалу 1200-1400 °С.

**Ключові слова:** цемент, перліт, склад, сировинна суміш, випал, фазовий склад, властивості.

**Вступ.**

Технологія виробництва силікатних матеріалів базується на комплексному використанні сировини різного генезису [1]. Одним із джерел природної силікатної сировини є породи вулканічного походження [2,3], серед яких суттєве місце за світовим розповсюдженням і запасам родовищ займає перліт [4,5].

Завдяки особливостям хімічного складу та структури, перліт отримав застосування для виготовлення будівельних матеріалів - теплоізоляційних і керамічних. В той же час, подальше підвищення ефективності роботи діючих кар'єрів потребує розширення напрямків практичного використання перліту. Одним з таких перспективних напрямків може стати масоємне виробництво цементу, що стало метою поданої роботи.

**Основна частина**

В даній роботі було досліджено суміші на основі силікатної системи крейда – глина – перліт.

Хімічний склад досліджуваної проби перліту відзначається високим вмістом SiO<sub>2</sub> при кількісному співвідношенні SiO<sub>2</sub>: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 6 : 1 та лужних оксидів типу R<sub>2</sub>O = 8,09 мас. %

Крейда характеризується переважним вмістом CaO, проба кривинської глини – кількісним співвідношенням SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4 : 1.

Рентгенофазовий аналіз порошкових препаратів досліджуваної сировини,



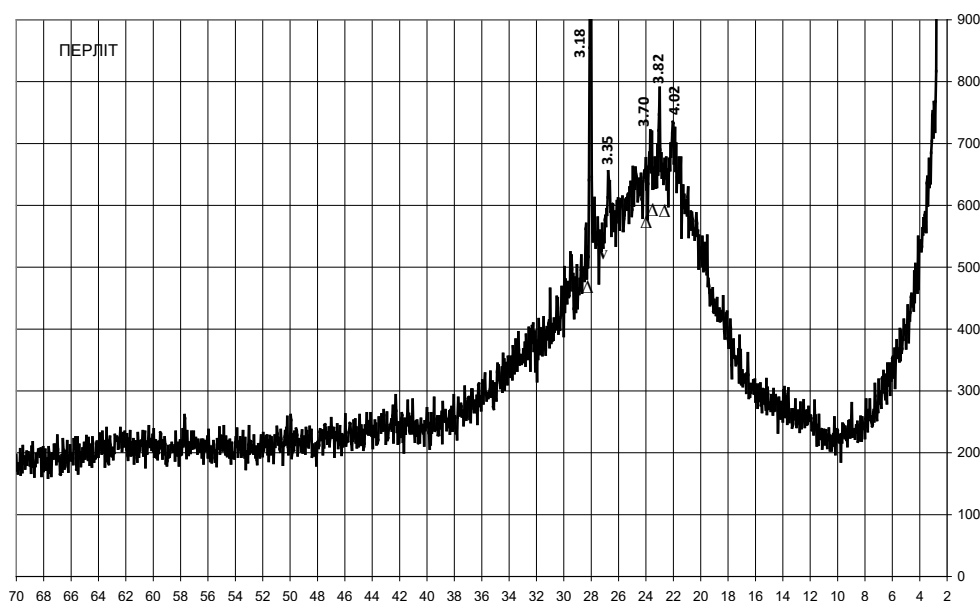
проведений з застосуванням дифрактометра ДРОН – 3М, дозволив вивити особливості мінералогічного складу проб:

– перліт характеризується розвиненою склофазою із кристалічними включеннями кварцу та польового шпату (рис. 1), крейда відрізняється превалюючим вмістом кальциту, кривинські глини відносяться до групи полімінеральних з підвищеним вмістом монтморилоніту, кварцу та польових шпатів.

**Таблиця 1 - Хімічний склад сировини**

Назва проби	Вміст оксидів, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	в.п.п
перліт	72,08	12,92	1,50	0,90	0,88	0,63	-	3,76	4,33	3,0
крейда	0,77	0,25	0,13	-	55,0	0,25	0,08	-	-	42,32
кривинська	60,96	15,66	5,57	0,79	3,33	2,04	0,16	0,30	2,70	8,48

Розрахунки та аналіз складу сировинних сумішей для виготовлення портландцементного клінкеру проводили з використанням комп'ютерної програми «КЛІНКЕР» [6] згідно відомих рекомендацій відносно числових значень коефіцієнту насичення КН, кремнеземного  $n$  та глиноземного  $p$  модулів.



**Рисунок 1 - Дифрактограма проби закарпатського перліту.  
Позначення:  $\nabla$ -кварц,  $\square$ -польовий шпат**

Використання 3-компонентних сировинних сумішей з перлітом дозволило відкорегувати характеристики портландцементного клінкеру до рекомендованого рівня. Обрані для дослідження проби Г1 на основі системи крейда – кривинська глина та Г2, Г3 на основі системи крейда – кривинська глина перліт при КН = 0,90 характеризуються числами кремнеземного модулю  $n = 3,0 - 3,5$  і глиноземного модулю  $p = 2,94 - 3,62$  (табл. 2).

Аналіз хімічного складу клінкеру із досліджуваних сумішей свідчать, що введення 8,8 мас. % перліту відповідно до вказаного вище складу вихідних



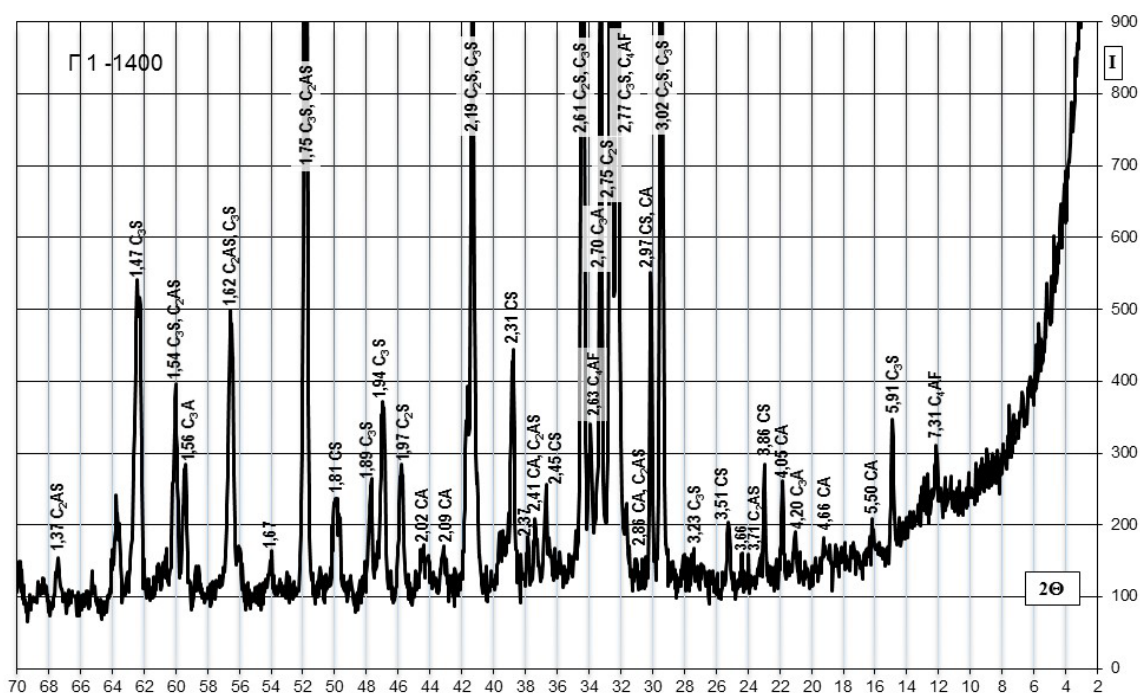
сумішей призводить до певного збільшення вмісту CaO і SiO<sub>2</sub>, зменшення вмісту Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і MgO.

**Таблиця 2 - Склад досліджуваних сумішей**

Код суміші	Крейда Зд.	Перліт	Глина кривинська
Г1	78,0	-	22,0
Г2	78,3	2,7	19,0
Г3	79,2	8,8	12,0

Досліджувані 3 – компонентні суміші мають відмінності у кількісному співвідношенні компонентів, значеннях характеристик клінкеру та його фазовому складі.

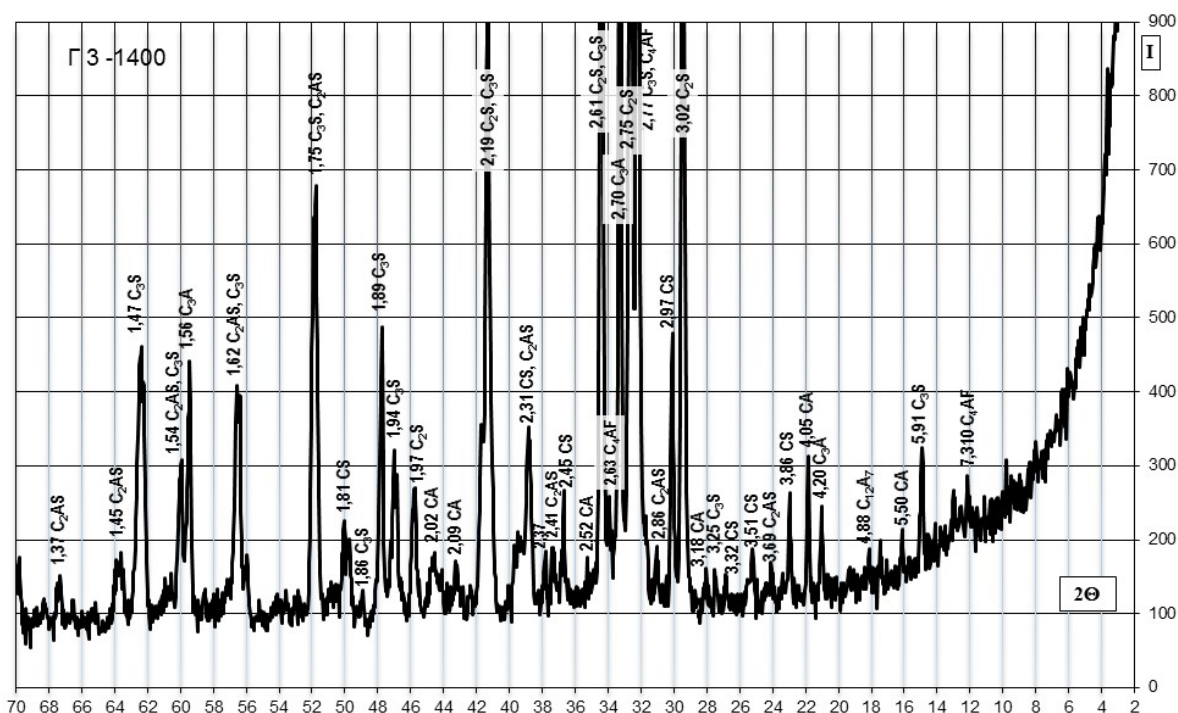
За даними рентгенофазового аналізу встановлено певні особливості фазових перетворень при випалі проб клінкеру з досліджуваних сумішей в інтервалі максимальних температур 1200 – 1400 °С (рис. 2,3).



**Рисунок 2 - Дифрактограма проби Г1 при випалі на 1400 °С**

Так, Після випалу на 1400 °С матеріал із суміші Г3 з 8,8 мас. % перліту у порівнянні з пробою Г1 характеризується:

- щодо кристалічних фаз силікатів кальцію – при приблизно однаковому утворенні C<sub>3</sub>S (1,86, 3,02 Å) та C<sub>2</sub>S (2,61, 2,75 Å) дещо меншим розвитком воластоніту CS (2,97 Å);
- щодо кристалічних фаз алюмосилікатів кальцію – дещо більшим утворенням геленіту C<sub>2</sub>AS (2,86 Å);
- щодо кристалічних фаз алюмінатів кальцію – певною інтенсифікацією утворення C<sub>3</sub>A (2,70, 1,56 Å), CA (2,52 Å) та майєніту C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> (4,88 Å);
- щодо залізовмісних кристалічних фаз - меншим утворенням C<sub>4</sub>AF (2,63, 7,31 Å).



**Рисунок 3 - Дифрактограма проби Г3 при випалі на 1400 °С**

Отримані результати тестувань проб портландцементу свідчать про відмінності технологічних властивостей при диференціації складу вихідних сировинних сумішей та ступеню випалу (табл. 4).

**Таблиця 4 - Властивості в'язучого матеріалу**

Показники		Код проби					
		1200 °С			1400 °С		
		Г1	Г2	Г3	Г1	Г2	Г3
Тонкість помелу, залишок на ситі 008, мас. %		7	8	8	7	7	7
Терміни тужавлення, хв.	початок	25	10	20	120	45	60
	кінець	190	160	155	150	105	105
Міцність на стиск через 28 діб, МПа		27,5	27,9	28,6	38,7	38,8	39,4

Згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 за швидкістю тужавлення після випалу на максимальну температуру 1200 °С проба Г3 з 8,8 мас. % перліту відноситься до групи швидкоотужавлюючих (термін початку від 15 до 45 хв.), характерними представниками якої вважаються ангідритовий і глиноземистий цемент. Після випалу на максимальну температуру 1400 °С проби Г2 і Г3 з перлітом відносяться до групи нормальнотужавлюючих (термін початку від 45 хв. до 2 год.), характерними представниками якої вважаються портландцемент і шлакопортландцемент.





## Висновки

1. Можливий вміст перліту у розрахованих складах сумішей (Г2,Г3) на основі системи крейда-глина-перліт становить 2,7-8,8 мас.% при забезпеченні рекомендованих характеристик клінкеру

2. За структурними ознаками після випалу з максимальною температурою 1400 °С клінкер із суміші Г3 з 8,8 мас.% перліту при аналогічному із пробою Г1 без перліту якісному складі основних клінкерних мінералів відрізняється більшим розвитком кристалічної фази геленіту  $C_2AS$  при меншому вмісті  $CS$  і  $C_4AF$ .

## Література:

1. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов / Удачкин И.Б., Пащенко А.А., Черняк Л.П., Захарченко П.В., Семидидько А.С., Мясникова Е.А. – К.: Будівельник, 1988. – 104 с.

2. Козырев В.В. Вулканические породы как сырье для керамической промышленности / В.В. Козырев, Ю.С. Спешнев, Л.В. Ерохина // М.: ВНИИЭСМ, 1975. – 45 с.

3. Гуменюк Е.Л. Структурообразование и свойства некоторых пород вулканического происхождения / Е.Л. Гуменюк, Р.М. Зайонц, Л.П. Черняк // Исследования в области технологии производства новых видов керамических изделий. – М.: Стройиздат. – 1980.- С. 109-117.

4. Minerals Yearbook, volume III, Area Reports—International—Europe and Central Eurasia. - U.S. Geological Survey, 2018.

5. Singh M., Garg M.. Perlite-based building materials — a review of current applications / Manjit Singh, Mridul Garg.// Construction and Building Materials, 1991. - No. 5(2). – pp. 75-81.

6. Свідерський В.А., Черняк Л.П., Дорогань Н.О., Сорока А.С. Програмне забезпечення технології портландцементу // Строительные материалы и изделия. – К. – 2014. – № 1 (84). – С. 16 – 17.

**Abstract.** The results of research of silicate systems with Transcarpathian perlite as raw materials for the production of mineral binders are presented. Peculiarities of chemical and mineralogical composition of raw materials as a factor in the formation of cement clinker in the firing process are shown. Computer calculations were performed and the compositions of the initial raw material mixtures based on the chalk-clay-perlite system were determined. The peculiarities of the phase composition and technological properties of the mineral binder material in the range of maximum firing temperatures of 1200-1400 °C when varying the perlite content from 2.7 to 8.8 wt.% are shown.

**Key words:** cement, perlite, composition, raw material mixture, firing, phase composition, properties.

Статья отправлена: 18.04.2022 г.

© Черняк Л.П.



УДК 640.432

**TECHNOLOGICAL FEATURES BATATU IN SWEET DISHES «SAMBUK»  
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БАТАТУ В СОЛОДКИХ СТРАВАХ «САМБУК»****Kobeliianska E.V./ Кобелянська Є.Б.***student / студент***Kovtun A.V. / Ковтун А.В.***senior lecturer / старший викладач***Sharan L.O./Шаран Л.О.***c.t.s., as.prof./к.т.н. доц.***Bortnichuk O.V./ Бортнічук О.В.***c.t.s., as.prof./к.т.н. доц.*

*National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska 68, 01601  
Національний університет харчових технологій, Київ, Володимирська 68, 01601*

**Анотація.** За останні роки у споживачів значно підвищився інтерес до вивчення нетрадиційної рослинної сировини, яка містить у своєму складі підвищений вміст харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин, природніх антиоксидантів, тощо. Зараз в усьому світі активно йде протистояння нездоровому харчуванню і тому здорове та збалансоване харчування на сьогодні вважається трендом сьогодення.

Солодкі страви завжди користуюся великим попитом серед дітей та дорослих, водночас вони є калорійними та не збалансованими за хімічними складовими. Тому саме ця група страв потребує удосконалення рецептурного складу за рахунок використання нової «здорової» рослинної сировини.

Для збалансування харчової цінності солодких страв, а саме самбуків, було обрано, нещодавно відому та популярну, низькокалорійну, нетрадиційну сировину, а саме батат. «Солодка картопля» є джерелом мінеральних речовин та вітамінів. Батат у технології самбуків використовували у вигляді пюре, як часткову заміну рецептурного компоненту, яблучного пюре.

**Ключові слова:** батат, солодкі страви, самбук, пюре батату, нетрадиційна сировина.

**Вступ.**

Харчування сучасної людини під впливами факторів сьогодення потребує значних корективів. При цьому, більшість серцево-судинних, шлунково-кишкових захворювань, цукровий діабет, ожиріння та ряд інших супутніх хвороб виникають за рахунок не правильного харчування, малорухливого способу життя.

В ХХІ століття спостерігається тенденція розвитку здорового способу життя та збалансованого харчування серед українців. Використання натуральної, рослинної сировини, багатої на вітаміни, мінеральні речовини дозволить підвищити нутрицевтичний склад багатьох груп страв та надати їм нові гастрономічні відтінки смаку.

**Основний матеріал.**

Останнім часом зміни кліматичних умов дозволяють на території нашої держави вирощувати нові види рослин та отримувати з них сировину багату корисними нутрієнтами. Цікавою та відносно новою сировиною є батат або «солодка картопля», як потенційне джерело вітамінів, мінеральних речовин, вуглеводів і біологічно активних речовин [1]. Розрізняють три види батату – десертний, овочевий та кормовий. Кожен із сортів відрізняється за вмістом



глюкози,  $\beta$ - каротину, глікемічним індексом, вмістом крохмалю, розмірами, формою, смаковими властивостями, тощо. Проаналізувавши наукову літературу та інші інформаційні джерела, особливу нашу увагу привернули десертні сорти батату. Ці плоди мають жовтий або оранжевий колір, приємні на запах, смак, а також мають високий ступінь солодкості. Окрім цього, ця сировина багата на вітаміни групи В та макро- та мікроелементи [2].

Вченими Тернопільського Національного технічного університету ім. Івана Пулюя досліджено хімічний склад сортів батату, які вирощуються в умовах Лісостепу та Полісся України, а також сортів, які культивуються в інших країнах.

**Таблиця 1 – Хімічний склад різних сортів батату**

Складові	Країна культивування					
	Індія	США		Україна*		
		Назва сорту				
		«Jersey»	«Porto Rico»	«Джорджія Ред»	«Бетті»	«Хай Бет»
Білки, г	1,2	2,0	2,0	1,2	1,9	2,1
Жири, г	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2
Вуглеводи, г	28,2	27,0	22,1	23,8	25,5	24,6
Мінеральні речовини, мг/100 г						
- фосфор	50	51	54	48	61	59
- кальцій	20	60	36	47	37	58
- залізо	2,8	0,9	0,9	3,0	2,3	2,6
- натрій	9,0	40,0	60,0	19,5	22,0	37,6
- калій	393	390	430	300	336	379
Вітаміни, мг/100 г						
- аскорбінова кислота	24	32	18	25	28	26
- тіамін	0,08	0,10	0,17	0,10	0,20	0,21
- рибофлавін	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03
Енегетична цінність, ккал	120,0	116,0	101,0	101,0	118,0	114,0

Дані таблиці 1 показують, що вміст аскорбінової кислоти 32 мг/100 г найбільший у сорті Jersey (США); вміст тіаміну найбільший у сорті «Хай Бет» 0,21 мг/100 г. Також, сорт «Хай бет» містить більшу кількість білка та мінеральних речовин ніж інші сорти батату.

Окрім цього, дослідженнями хімічного складу різних зразків батату вітчизняної та закордонної селекції впродовж декількох років займалися науковці Інституту овочівництва та баштанництва НААН.

В Полтавському університеті економіки і торгівлі науковці досліджували батат у технології виробів із кексового тіста [6]. В Національному університеті харчових технологій досліджено батат, як загущувач у технології соусів для закладів харчування та в десертах функціонального спрямування [4, 5].

На сьогодні батат використовують у приготуванні перших, других, солодких страв та навіть напоїв. Зокрема, солодкі страви займають важливе місце у харчуванні серед дорослого і дитячого населення України. Особливою популярністю у споживача солодких страв користуються желе, муси, самбуки,



які виготовляються з використанням різних плодів та ягід. Тому, проаналізувавши асортимент солодких страв, нашу увагу привернув, зокрема самбук. Це повітряне десерт-желе, що виготовляється на основі яєчних білків з подрібнених ягід або фруктів.

Тому, метою нашого дослідження є удосконалення технології самбуків з використанням пюре батату для закладів ресторанного господарства.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- удосконалити рецептуру виробництва самбуків із частковою заміною рецептурного інгредієнту, яблучного пюре на пюре батату;
- дослідити фізико-хімічні та органолептичні показники удосконаленого десерту.

Експериментальну частину роботи виконано в лабораторіях кафедри готельно-ресторанної справи, Національного університету харчових технологій, а також в лабораторії якості і безпеки продукції АПК, Національного університету біоресурсів і природокористування України.

В результаті проведеного аналізу хімічного складу досліджуваної сировини для подальшої роботи обрано батат сорту «Хай бет», культивування Україна. Для приготування самбуку ми використовували технологічно підготовлене пюре батату, тому доцільним було дослідити його хімічний склад.

**Таблиця 2 – Хімічний склад пюре**

Складові	Пюре батату	Яблучне пюре
Білки,%	1,56	0,7
Жири,%	0,6	-
Вміст золи,%	3,3	0,5
Вміст вологи,%	51,05	63,5
Вміст клітковини%	1,5	0,9
Енергетична цінність, ккал	88	76

З табл. 2 видно, що досліджене пюре батату має підвищений вміст золи та білка, порівняно з яблучним пюре. В цілому пюре батату має в 1,2 рази більшу енергетичну цінність ніж яблучне пюре, про те це особливо не впливатиме на отримання низькокалорійної солодкої страви.

За контрольний зразок було обрано рецептуру самбук «Яблучний» відповідно до збірника рецептур [3]. В класичній рецептурі було проведено часткову заміну рецептурного компоненту яблучного пюре на пюре батату у кількості 25 %, 50 %, 75 % і 100 %.

Удосконалена технологія приготування самбуку передбачає механічне кулінарне обробляння батату, запікання його при  $t=220-180^{\circ}\text{C}$ , 20-25 хв., охолодження, очищення від шкірки та протирання через сито до пюреподібного стану. Далі підготовлений желатин, проціджують та вливають тонкою цівкою до збитої маси. Наприкінці процесу додають збиті до пухкої піни білки та обережно перемішують. Масу розливають у форми і охолоджують до температури  $12^{\circ}\text{C}$ .

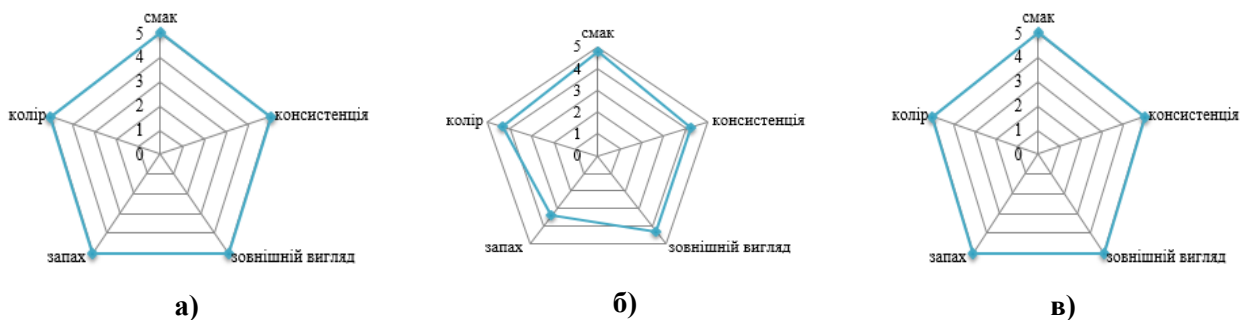
Подальші дослідження були присвячені впливу пюре батату на зміну органолептичних показників і готовій страві порівняно з контрольним, зокрема



досліджували зміну смаку, кольору, консистенцію, запаху та зовнішнього вигляду.

Проведені органолептичні дослідження показали, що погіршення показників якості у досліджуваних зразках відбувалося вже після заміни яблучного пюре на пюре батату у кількості більше 51 %. Тому, для подальших досліджень було обрано зразки самбуків із заміною яблучного пюре на пюре батату у кількості 25 та 50%.

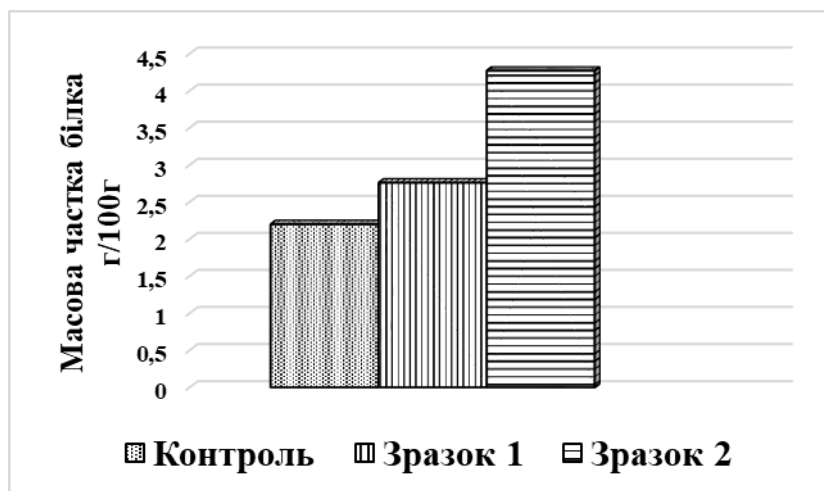
На основі одержаних отриманих було побудовано профілограми якості за такими показниками: зовнішній вигляд, колір, смак, запах, консистенція. Оцінювання проводили за бальною шкалою від 0 до 5 балів. Отримані результати відображені у вигляді багатокутників якості з урахуванням вагомості кожного показника. Результати досліджень представлені на рисунку 1.



**Рисунок 1 – Профілограми якості. а – Контроль, б – зразок 1, в – зразок 2**

Одержані дані сенсорного аналізу, показали, що найбільш наближеним за показниками якості до контрольного зразку, виявився зразок № 2.

Відпрацювавши технологію приготування самбуку з використанням пюре батату було досліджено вплив пюре батату у кількості 25 та 50 % на зміну фізико-хімічних показників готової солодкої страви. За попередніми даними відомо, що пюре батату високобілкова сировина, тому доцільно було дослідити як саме змінюється його кількість в досліджуваних зразках рис. 4.



**Рисунок 4 – Вміст білка в досліджуваних зразках самбуку**

Як видно з рисунку, найбільший вміст білка міститься у зразку 2 та становить 4,27 мг/100 г, що у 1,9 рази більше порівняно з контролем.



Окрім цього, було визначено зміну масової частки цукрів у досліджуваних зразках самбуку (рис. 5).

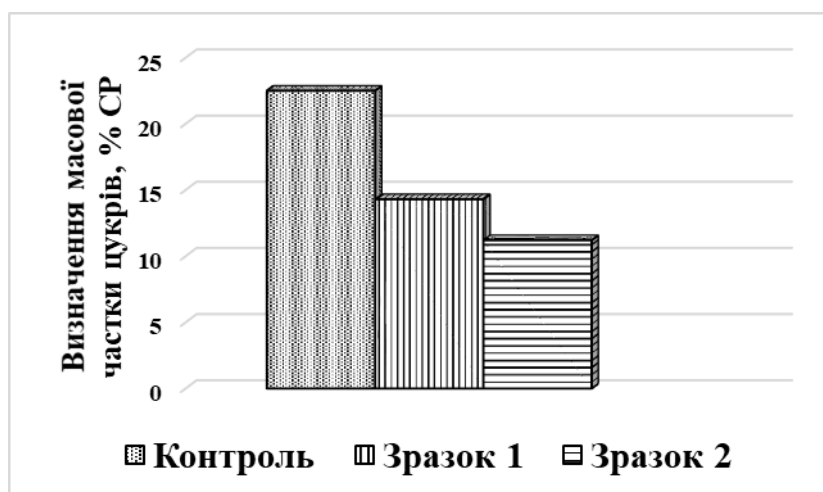


Рисунок 5 – Вміст загальних цукрів в досліджуваних зразках самбуку

З рисунку 5 бачимо, що найбільша кількість загальних цукрів міститься в контрольному зразку 22,5 %, а найменша - 11,2 % в зразку № 2. Це явище можна пояснити зниженим вмістом власних цукрів пюре батату порівняно з яблучним у 3,1 рази.

Також, нами було досліджено вплив пюре батату на зміну титрованої кислотності досліджуваних зразків самбуку, оскільки підвищення або зниження кислотного балансу організму людини може призвести до серйозних порушень здоров'я (рис. 6).

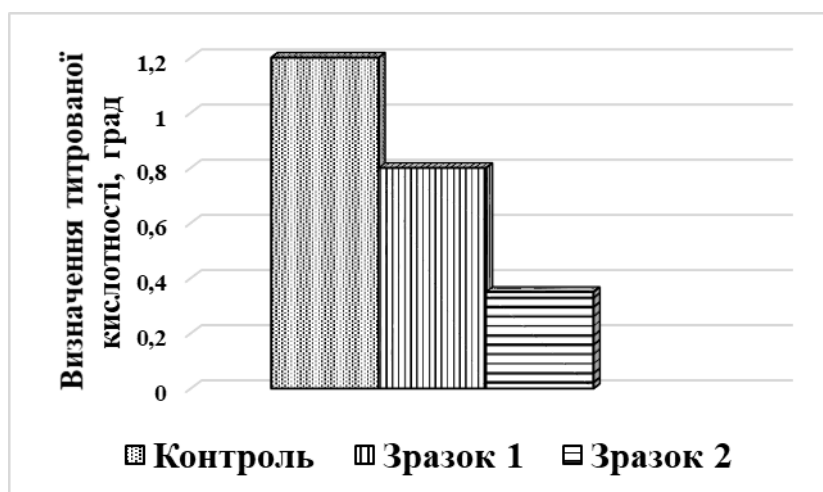


Рисунок 6 – Вплив пюре батату на зміну титрованої кислотності в досліджуваних зразках самбуку

Результати досліджень показують, що титрована кислотність для контрольного зразка становить – 1,2 град, для зразка № 1 – 0,8 град, для зразка № 2 – 0,35 град. Це говорить про те, що самбук із використанням пюре батату має меншу кислотність порівняно з контролем, а отже позитивно впливатиме на шлунково-кишковий тракт.



### Висновки:

На основі проведеного аналітичного огляду, досліджено можливість використання нетрадиційної сировини - батату в солодких стравах, зокрема в самбуках. Удосконалено технологію солодких страв та підібрано раціональні параметри виробництва. Проведено ряд експериментальних досліджень і встановлено, що використання пюре батату в технології самбуків 50 % до маси яблучного пюре дозволяє підвищити вміст білка у 1,9 рази, зменшити вміст вуглеводів та знизити показник титрованої кислотності готової страви у 3,4 рази за рахунок есенціальних речовин, які містяться в досліджуваній сировині.

Використання пюре батату дозволяє урізноманітнити меню в закладах ресторанного господарства, а також підвищити харчову цінність готових страв.

### Література:

1. Мозговська Г.В. Інтродукція нової нішевої культури батату (*Ipomoea Batatas* L) в умовах східного лісостепу України / Г.В. Мозговська, Т.В. Івченко, Н.О. Баштан // Генетичні ресурси рослин. - 2019. - № 25. - С.61-66.

2. Здоров'я, ліки, харчування. Картопля батат – корисні властивості, протипоказання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://hls.in.ua/kartoplea-batat-korisni-vlastivosti>.

3. Сборником технологических карт на блюда и кулинарные изделия для заведений ресторанного хозяйства // Авт.-сост. А.М. Беляева. – К.: Издательство А.С.К., 2007.- 1248 с.

4. Лукомська, Ю. П. Ефективність використання батату в закладах ресторанного господарства / Н. М. Кравчук, Ю. П. Лукомська // SEFood 2016 : 8-й Центрально-Європейський конгрес з харчових продуктів, 23-26 травня 2016 р. : книга тез. – К. : НУХТ, 2016. - С. 109.

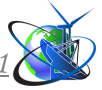
5. Кравчук, Н. М. Технологічні аспекти виробництва збитого десерту лікувально-оздоровчого напрямку / Н. М. Кравчук, Н. С. Посна // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: Збірник матеріалів X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю. – Одеса : 2017. - С. 119.

6. Бородай А.Б. Використання батату в технології виробів із кексового тіста / А.Б. Бородай, О.М. Горобець, Ю.В. Левченко, І.В. Чоні // Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Ґжицького. Серія: Харчові технології. – 2020. – Т.22 -№ 94. – С. 13-17.

**Abstract:** In recent years, consumers have significantly increased interest in the study of non-traditional plant raw materials, which contain high content of dietary fiber, vitamins, minerals, natural antioxidants, etc. Unhealthy eating is now being actively opposed all over the world, so a healthy and balanced diet is considered a trend today.

Licorice grasses are always crusted with great popularity among children and grown-ups, at the same time they stink of calories and are not balanced for chemical warehouses. That same group of strains will require an improved prescription warehouse for a new "healthy" herb supplement.

To balance the nutritional value of licorice herbs, and sambuki itself, it was selected, recently popular, low-calorie, non-traditional syrovina, and sweet potato itself. "Licorice potatoes" to



*avenger in its warehouse the amount of mineral substances and vitamins. Sweet potato in the technology of sambuki vikoristovuvali, replacement of the prescription component, apple puree mashed batat, like a regular replacement of the prescription component, apple puree.*

**Keywords:** *sweet potato, licorice, sambuco, sweet potato puree, non-traditional syrovina.*

Стаття відправлена: 12.04.2022 р.

© Кобелянська Є.Б., Ковтун А.В., Шаран Л.О., Бортнічук О.В.





УДК 637.334

**MILK WHEY DIRECTED ENRICHMENT BY MINERALS AND  
PROSPECTS OF IT USING IN FEED TECHNOLOGIES  
СПРЯМОВАНЕ ЗБАГАЧЕННЯ СИРОВАТКИ МОЛОЧНОЇ МІНЕРАЛЬНИМИ  
ЕЛЕМЕНТАМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ  
КОРМОВИХ ПРОДУКТІВ**

**Kochubei-Lytvynenko O.V. / Кочубей-Литвиненко О.В***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-0712-448X

**Dubivko A.S. / Дубівко А.С.***phD / аспірант*

ORCID: 0000-0003-4874-0860

**Bilyk O.A. / Білик О.А.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-3606-1254

**Pukhliak A.G. / Пухляк А.Г.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-6845-6205

*National University of Food Technologies, Ukraine, Kyiv, Volodymyrska str., 68, 01601**Національний університету харчових технологій, Україна,**м. Київ, вул. Володимирська, 68, 01601*

**Анотація.** Вивчено закономірності процесу збагачення сироватки молочної магнієм (1,8...4,1 рази) і манганом (1,5...4,2 рази) внаслідок електроіскрового диспергування струмопровідних гранул відповідних металів в технологічному електророзрядному комплексі залежно від тривалості оброблення (30...180 с).

Досліджено характер перебігу фізико-хімічних і біохімічних процесів у молочній сироватці, обробленій електроіскровими розрядами. Доведено відсутність негативного впливу на склад і властивості сироватки молочної. Розкрито потенціал для формування в ній цільових функціонально-технологічних властивостей, зокрема внаслідок утворення наночастинок біологічно цінних металів та часткового перетворення молочного цукру у лактобіонову кислоту.

В статті обґрунтовано доцільність застосування електроіскрового оброблення в технологічній схемі первинного оброблення молочної сироватки для кормових продуктів. Доведено забезпечення добових потреб дійних корів у магнії на 38,6 %, сухостійних – на 50,6 %, молодняка - на 61...111 %, залежно від живої маси та середньодобового приросту. Ступінь забезпеченості манганом покриває добову норму корів і молодняка лише на 1...2 %.

Обґрунтовано інтенсифікацію майже удвічі процесу ферментування молочної сироватки внаслідок її збагачення нано- та ультрарозмірними магніє- та манганвмісними частинками і підвищення вмісту лактобіонової кислоти, що служать поживними мікронутрієнтами для живих клітин лактобактерій.

Показано переваги та надано рекомендації щодо запровадження способу електроіскрового оброблення молочної сироватки в технологіях молочних кормових продуктів.

**Ключові слова:** сироватка молочна, електроіскрове оброблення, збагачення мінеральними елементами, магній, манган, кормові молочні продукти

**Вступ.**

Сироватка молочна здавна використовувалася для випоювання сільськогосподарської худоби і спрямовувалася молокопереробними



підприємствами на молочнотоварні ферми після первинного і теплового оброблення за невелику оплату або компенсацію витрат за транспортування [1, 2]. Нині таким шляхом розповсюдження цінної вторинної сировини, як правило, йдуть підприємства невеликої потужності з метою вирішення проблеми накопичення біологічних відходів. Тоді, як роль молочної сироватки в повноцінному харчуванні сільськогосподарських тварин доведена багатьма дослідниками та заслуговує на увагу [3, 4].

Сироватка молочна містить усі необхідні для повноцінного живлення худоби поживні речовини у легкозасвоюваній формі: білки з повним набором незамінних амінокислот, лактоза, мінеральні речовини, вітаміни, фосфоліпіди, ферменти, органічні кислоти, небілкові нітрогенвмісні сполуки, гормони, імунні тіла та ін. [1, 5]. Відомо, що кормова цінність натуральної молочної сироватки становить 0,09...0,13 корм. од. Проте, на рівні з цим, її енергетична цінність наближена до нелущеної кукурудзи [3]. Американськими дослідниками з Університету штату Вісконсін рекомендовано під час годівлі великої рогатої худоби до сироватки молочної відноситися як до концентрованих кормів та передбачати їх вільне випоювання в об'ємах від 36 до 45 дм<sup>3</sup>/доба [3]. У разі повної заміни води на молочну сироватку допускається випоювання нею до 75 дм<sup>3</sup>/доба [6].

Змінити відношення до сироватки молочної на малих підприємствах як до «небажаного побічного продукту», і перевести її у ранг функціональної сировини з високою харчовою і біологічною цінністю можна за рахунок впровадження способу електроіскрового збагачення сироватки магнієм і манганом у технології молочних кормових продуктів [7]. Адже, як відомо, мікроелементам мангану та магнію належить важлива роль у повноцінній годівлі сільськогосподарських тварин, зокрема великої рогатої худоби (ВРХ) [8-10].

Магній має важливе значення для рубцевого травлення сільськогосподарських тварин як активатор ферментів, бере участь у вуглеводному обміні, входить до складу кісток і м'яких тканин [8, 9]. Він не депонується в організмі і повинен постійно надходити з кормом. Потреба в магнії у сухостійних корів становить 16 г на добу на одну голову; для дійних – від 15 до 33 г на добу залежно від надоїв [10].

В організмі тварин манган відіграє роль активатора деяких ферментативних процесів, бере участь у обміні білків, вуглеводів і ліпідів, сприяє росту хрящової тканини [8, 10-12]. Потреба великої рогатої худоби в мангані становить 40...60 мг/кг сухої речовини корму і залежить від рівня продуктивності [8].

Відомо, що раціон сільськогосподарських тварин, як правило, містить достатню кількість магнію, проте окремі групи ВРХ (молодняк, вагітні, високопродуктивні) та у певних, зазвичай, екстремальних умовах (перехідний період утримання, зміна раціону, стреси, холод, спека тощо) відчувають його дефіцит. До того ж, загальна засвоюваність магнію є незначною і становить в середньому лише 20 % [8]. Так, є відомості, що в пасовищний період, незважаючи на достатню кількість магнію у рослинних кормах, за відсутності



додаткового мінерального прикорму у високопродуктивних тварин дефіцит магнію може проявлятися у вигляді трав'яної тетанії [8-9, 11].

Нестача мангану в раціоні годівлі супроводжується порушенням фосфорно-кальцієвого обміну, кровотворення, статевих функцій, і, в першу чергу, впливає на відтворення, збільшується кількість абортів, порушується структура кісткової тканини. Через обмеженість всмоктування мангану у травному тракті різні види тварин добре переносять його надлишок в раціоні [13]. З віком потреба в цьому мікроелементі зростає [11].

На разі для поповнення раціонів харчування худоби мінеральними елементами використовуються неорганічні та органічні солі, мінеральні, вітамінно-мінеральні премікси та ін. Все більше дослідників пропонують нові форми мінеральних елементів для підвищення їх засвоюваності, зокрема хелатні комплекси з мікроелементами [12], мінеральні препарати у нано- та ультра розмірних формах [14-15] та ін. Тому перспективним в цьому напрямі є поповнення раціону харчування сільськогосподарської худоби молочною сироваткою, збагаченою магнієм і манганом внаслідок електроіскрового оброблення,

Спосіб електрофізичного оброблення сироватки молочної і його запровадження у технології кормових продуктів потенційно може знайти використання на підприємствах малої потужності із незначними обсягами перероблення цієї цінної сировини та відсутністю інвестиційних вкладень у технології сушіння. Такий шлях перероблення сироватки сприятиме раціональному використанню цінної молочної сировини, збільшенню обсягів виробництва молочної продукції з 1 т молока та екологізації виробництва.

### **Основний текст**

**Мета досліджень** – обґрунтування доцільності впровадження способу електрофізичного збагачення сироватки молочної цінними мінеральними елементами у технології кормових молочних продуктів.

**Матеріали і методи.** Об'єктами дослідження були спосіб збагачення сироватки молочної магнієм і манганом внаслідок електроіскрового оброблення та технологія молочних кормових продуктів із неї. Предметом дослідження виступала сироватка молочна кисла, яка знаходить менше шляхів використання на сучасному молокопереробному виробництві і здебільшого спрямовується на кормові цілі.

Електроіскровий спосіб оброблення молочної сироватки реалізовували на експериментальній установці, розробленій науковцями НУБіП України та призначеній для електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів (заліза, міді, срібла, цинку, алюмінію, магнію, мангану тощо) [16]. Основним елементом лабораторного технологічного комплексу є генератор розрядних імпульсів (частота імпульсів 0,2...2,0 кГц; індуктивність розрядного контура 1 мкГ) з силовою частиною, побудованою на тиристорній елементній базі, а в якості накопичувача енергії використано конденсатор. Подачу напруги на електродну систему здійснювали за допомогою пульта керування.

Гранули металу (магнію і/або мангану), що підлягали диспергуванню, розміщували на днищі розрядної камери об'ємом 300...1000 см<sup>3</sup> між основними



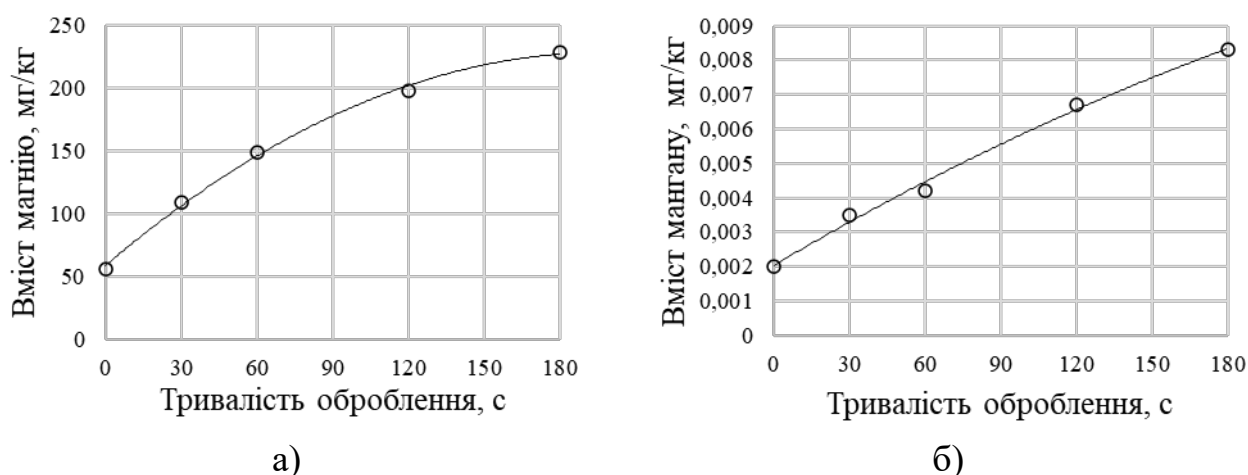
електродами, виготовленими із відповідного металу. Конструкція установки дозволяла послідовно обробляти молочну сироватку в кількох розрядних камерах, на дні яких між відповідними електродами розміщували магній і манган. Параметри електроіскрового диспергування гранул металів в середовищі сироватки молочної бути такими: напруга 80...100 В, ємність конденсатора 100 мкФ, експозиція – 30...180 с, температура середовища, що обробляється, залежала від поставленого дослідницького завдання і варіювалася від 20 до 80 °С.

В роботі використано стандартизовані (органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні) та спеціальні інструментальні методи визначення якості та безпечності сироватки молочної та продуктів її перероблення.

Вміст магнію і мангану у дослідних зразках сироватки молочної до та після електроіскрового оброблення визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Для цього використовували атомно-абсорбційний спектрометр ААС1N (Carl-Zeiss Jena, Німеччина), обладнаний пальником для полум'я ацетилен-повітря та лампами з порожнистим катодом на магній та манган. Реєстрація атомного поглинання здійснювалась при довжині хвилі резонансної лінії 285,2 нм (Mg) та 279,5 нм (Mn) у полум'ї ацетилен-повітря.

#### Результати досліджень.

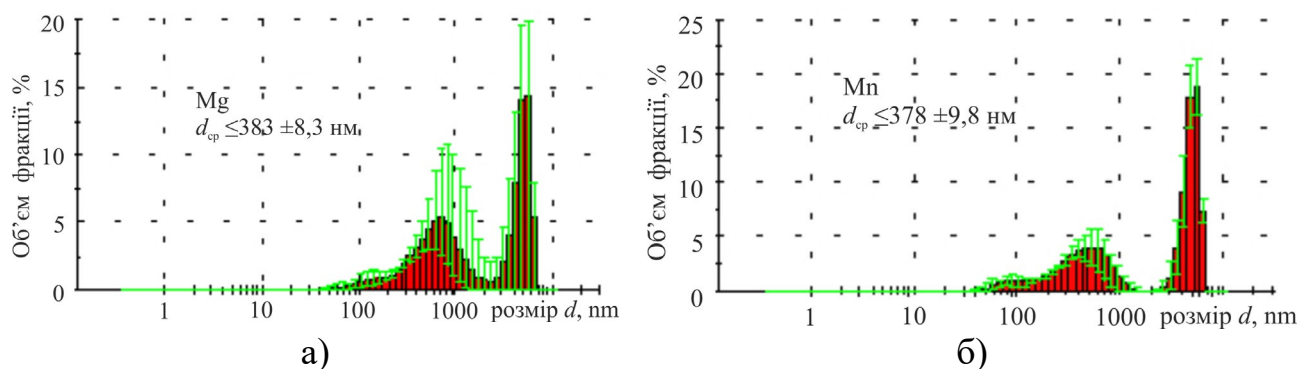
Встановлено, що за умови електроіскрового оброблення, в усіх дослідних зразках молочної сироватки збільшувався вміст магнію в 1,8...4,1 рази і мангану в 1,5...4,2 рази, залежно від тривалості оброблення. Динаміку зростання кількості магнію і мангану в сироватці молочній кислій наведено на рисунок 1.



**Рисунок 1 – Вміст Mg (а) і Mn (б) у сироватці молочній кислій, залежно від експозиції електроіскрового оброблення**

Було з'ясовано, що тривалість електроіскрового оброблення молочної сироватки є важливими чинником впливу на ступінь збагачення магніє- та манганвмісними частинками.

Дисперсний аналіз металовмісних частинок дозволив встановити, що вони перебувають в нано-, ультра- та мікророзмірному діапазоні від 50...70 нм до 7 мкм (рисунок 2, а, б).



**Рисунок 2 – Розподіл частинок магнію (а) і мангану (б) за розмірами**

Домінування нано- та ультрарозмірних частинок буде позитивно впливати на ступінь засвоєння даних металовмісних частинок організмом сільськогосподарської худоби.

В ході досліджень встановлено, що під час електроіскрового оброблення сироватки молочної зростає рН зразків, причому цей ефект виражений дещо сильніше за використання манганових електродів. Поясненням цьому факту може бути взаємодія металів з «кислою» складовою сироватки: молочною та лимонною кислотами та насичення металовмісними частинками.

За вимірними значеннями потенціалів платинового електроду були підстави констатувати, що в системі відбуваються відновні процеси, проте значення потенціалу за максимальної тривалості оброблення (180 с) не перевищувало окисно-відновний потенціал (ОВП) свіжого молока (250 мВ).

Виявлено зміни ОВП в обробленій сироватці з 5 мВ у контролі до 56...201 мВ, залежно від тривалості оброблення та виду електродної системи електророзрядної камери (таблиця 1).

**Таблиця 1. Фізико-хімічні характеристики дослідних зразків молочної сироватки після електроіскрового оброблення**

Метал струмопровідних гранул в електророзрядній камері	Тривалість оброблення, с	рН	ОВП, мВ
магній	30	4,31±0,21	56±2,0
	60	4,75±0,23	73±3,0
	120	5,18±0,20	159±7,0
	180	5,33±0,2	195 ±8,0
манган	30	4,59±0,20	79±2,0
	60	5,07±0,21	102±3,0
	120	5,25±0,24	187±5,0
	180	5,45±0,20	201±8,0

Істотних відмінностей у фракційному складі досліджуваних зразків молочної сироватки не знайдено [17].

Хромато-мас-спектроскопічними дослідженнями доведено часткове окиснення лактози у лактобіонову кислоту (від 0,2 % до 1,7 %, залежно від



параметрів оброблення) під час електроіскрового оброблення сироватки молочної, розкрито механізм і обґрунтовано чинники окиснення, а саме: підвищення температури в плазмовому каналі; дисоціація водяної пари, одним із продуктів якої є атомарний кисень; насичення реакційного середовища металовмісними частинками та сполуками металів із каталітичними властивостями [18].

Отримані дані засвідчили як проходження процесу насичення металовмісними частинками, так і комплексоутворення між йонами магнію, мангану і біолігандами сироватки молочної та, як наслідок, формування її цільових функціонально-технологічних властивостей.

Аналіз забезпечення добових потреб корів в Mg і Mn за рахунок сироватки молочної, обробленої електроіскровими розрядами, порівняно із споживанням звичайної сироватки наведений у таблиця 2.

**Таблиця 2 – Ступінь забезпечення добових потреб дійних корів у Mg і Mn за споживання сироватки молочної, збагаченої мінеральними елементами внаслідок електроіскрового оброблення**

Найменування корму	Норма споживання, кг/доба [3]	Вміст, мг/кг		Ступінь забезпеченості добової потреби, %, у:			
		Mg*	Mn*	дійних корів		сухостійних корів	
				Mg	Mn	Mg	Mn
Сироватка молочна натуральна	45	58	0,03	12	0,2	12	0,2
Сироватка молочна, збагачена Mg		180	0,03	38,6	0,2	50,6	0,2
Сироватка молочна, збагачена Mn		58	0,11	12	1,0	12	1,0

*Примітка.\* - експериментальні дані вмісту Mg і Mn в молочній сироватці до та після оброблення електроіскровими розрядами за температури (20±2)°C та тривалості (90±30)с.*

Розрахунки здійснювали для дійних корів живою масою 500 кг з обсягом надоїв 15 кг/доба та сухостійних корів з урахуванням добових потреб у мінеральних елементах згідно з рекомендаціями [8]. Добові потреби у магнії для дійних і сухостійних корів становлять 21 і 16 г на добу відповідно. Добові потреби у мангані для дійних і сухостійних корів становлять 600 мкг на добу. Ступінь забезпечення добових потреб у Mg і Mn розраховували згідно з рекомендаціями споживання сироватки молочної, надані на запит консультаційного центру Асоціації виробників молока України американськими науковцями із аграрного університету Штату Вісконсін [2, 3].

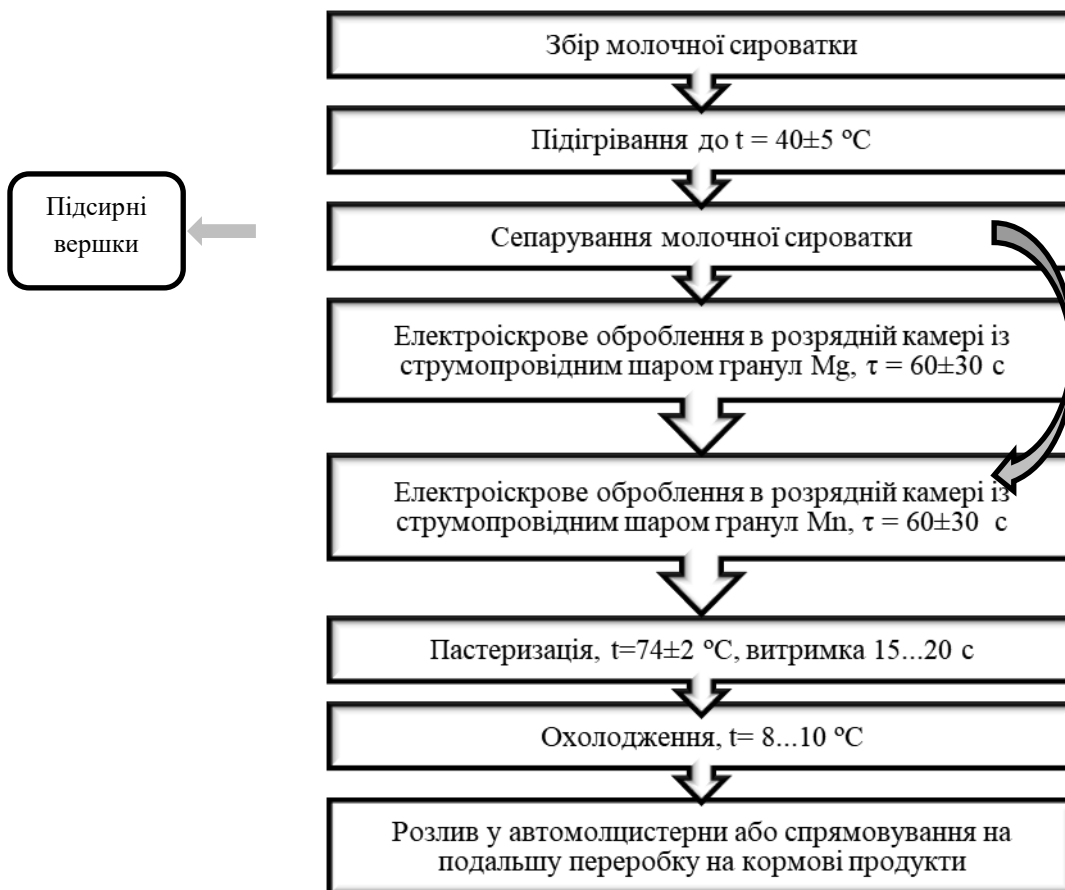
Встановлено, що сироватка молочна, збагачена мінеральними елементами, здатна забезпечити потреби дійних корів у магнії на 38,6 %, сухостійних – на



50,6 %. Тоді, як ступінь забезпеченості манганом хоча й у майже 3 рази вищий за молочну сироватку необроблену, проте здатний забезпечити лише 1% добової норми корови. Під час випоювання молодняка ВРХ з нормою споживання не більше 37 дм<sup>3</sup> на добу, для яких добова потреба у Mg становить від 6 до 11 г на добу на одну голову залежно від живої маси та середньодобового приросту [8], забезпечується потреба у магнії на 61...111 %. Потреби у мангані, подібно до дійних і сухостійних корів, забезпечуються лише на 1...2 % від добової потреби.

Отже, пріоритетним первинним способом оброблення молочної сироватки у технології продуктів для кормових цілей є електроіскрове збагачення сировини магнієм або збагачення обома мінеральними елементами.

Враховуючи зазначене, була розроблена технологічна схема первинного оброблення сироватки молочної в технології кормових продуктів (рисунок 3). Оброблену сироватку рекомендовано використовувати в кормовому раціоні безпосередньо або спрямовувати на виробництво заміників незбираного молока чи інших продуктів для годівлі сільськогосподарської худоби.



**Рисунок 3 – Принципова технологічна схема первинного оброблення сироватки молочної із застосуванням електроіскрового способу в технології продуктів для кормових цілей**

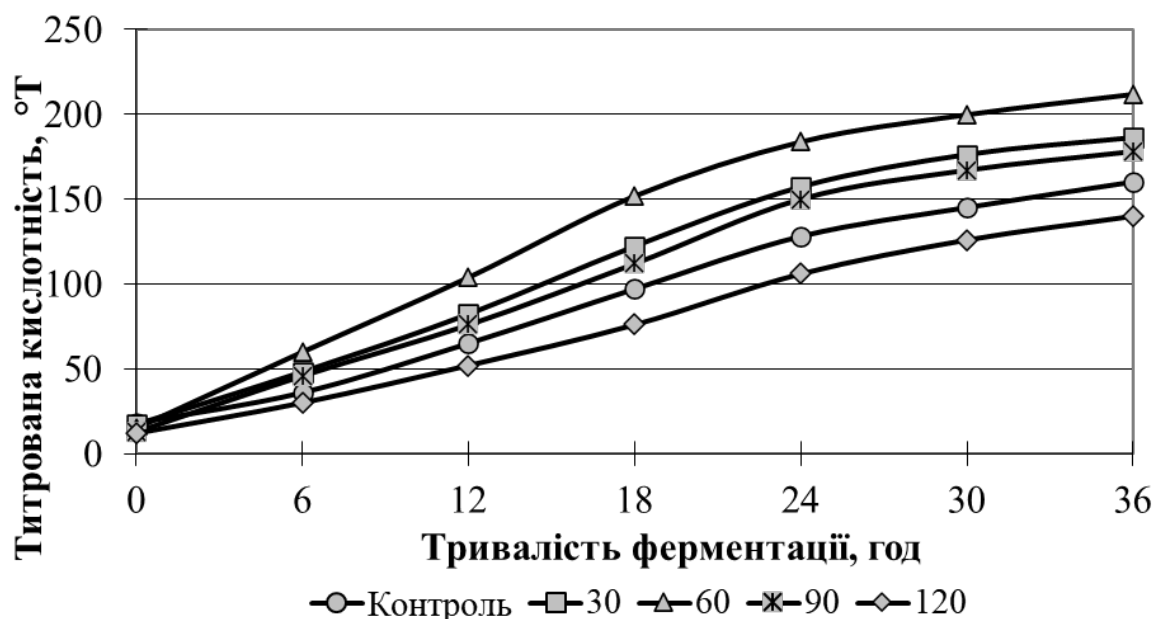
На наступному етапі вивчали доцільність впровадження способу електроіскрового оброблення сироватки в технології сироватки збагаченої.

Для встановлення впливу електроіскрового оброблення на



кислотоутворючі властивості *Lbc. acidophilus* визначали титровану кислотність сироватки молочної через кожні 6 год ферментації за температури  $(40 \pm 2)$  °С. Динаміка змін титрованої кислотності в досліджуваних зразках ферментованої сироватки в залежності від вихідних параметрів наведена на рисунках 4 – 6.

Встановлено, що для усіх досліджуваних зразків характерним було природне зростання титрованої кислотності протягом ферментації. Проте, в зразках, збагачених мінеральними елементами внаслідок електроіскрового оброблення протягом 30...60 с, приріст титрованої кислотності ( $\Delta T$ ) у часі був інтенсивнішим. Так, через 24 год ферментації в дослідних зразках №1  $\Delta T$  складало від 140 до 169 °Т, залежно від тривалості оброблення; в зразках № 2 – від 122 до 136 °Т, в зразках № 3 – від 140 до 171 °Т. Тоді, як в контролі через добу ферментації титрована кислотність зросла лише на 110 °Т.



**Рисунок 4 – Динаміка ферментації молочної сироватки, обробленої в розрядній камері зі струмопровідним шаром гранул Mn в порівнянні з контролем**

Зі збільшенням тривалості оброблення до 120 с внаслідок зростання кількості металевих частинок у мікророзмірному діапазоні і, як наслідок, зміщення рН у вихідній сироватці в лужний бік, ферментація відбувалася повільніше. Найвищу кислотоутворюючу активність культура молочнокислих мікроорганізмів *Lbc. acidophilus* проявляла в молочній сироватці, обробленій в розрядній камері зі струмопровідним шаром гранул Mn за тривалості оброблення 60 с, та в сироватці, збагаченій обома мінеральними елементами. Слід відмітити синергетичну дію магнію і мангану на інтенсивність ферментації, що зумовлено зростанням важливих поживних мікро- та макроелементів для побудови компонентів живих клітин лактобактерій у формі, доступній для засвоєння та конструктивного метаболізму за одночасного підвищення вмісту лактобіонової кислоти яка, як відомо, сприяє інтенсифікації процесів сквашування [19].

Експериментальні дослідження динаміки наростання кислотності у

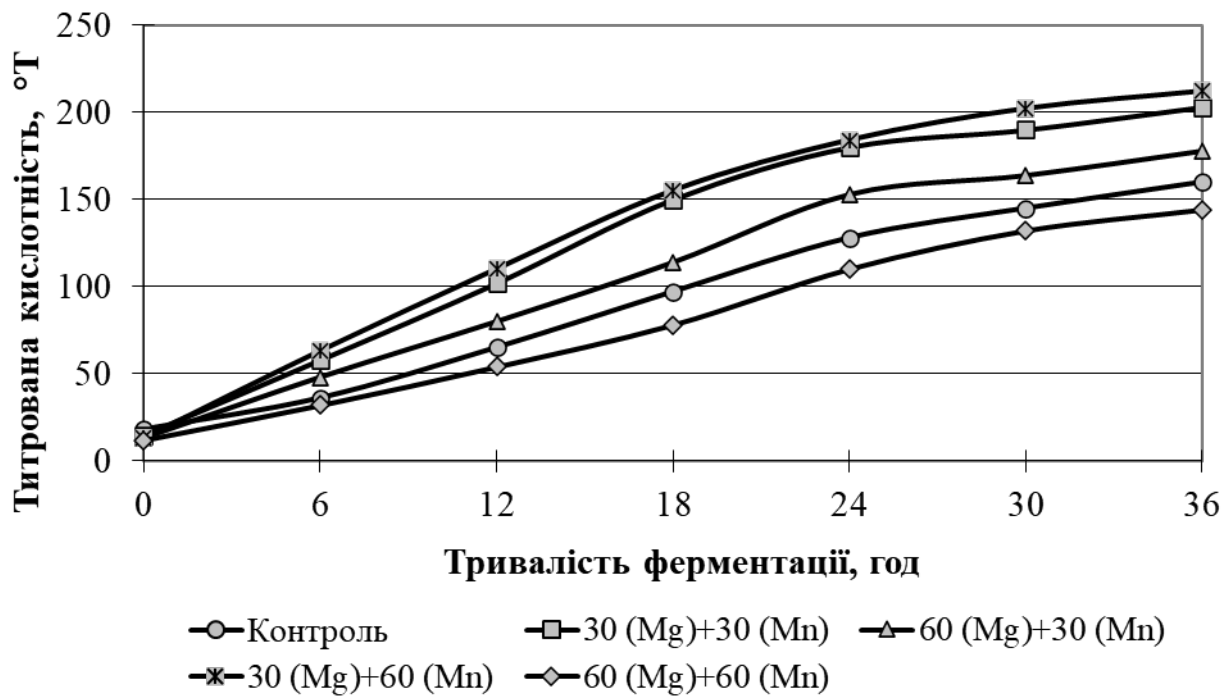




ферментованій сироватці довели, що запровадження електроіскрового оброблення сировини у технологію сироватки молочної збагаченої дозволяє скоротити час її ферментації до наростання титрованої кислотності до 40...60 °Т на 3...6 год порівняно із традиційною технологією.



**Рисунок 5 – Динаміка ферментації молочної сироватки, обробленої в розрядній камері зі струмопровідним шаром гранул Mg, в порівнянні із необробленою молочною сироваткою**

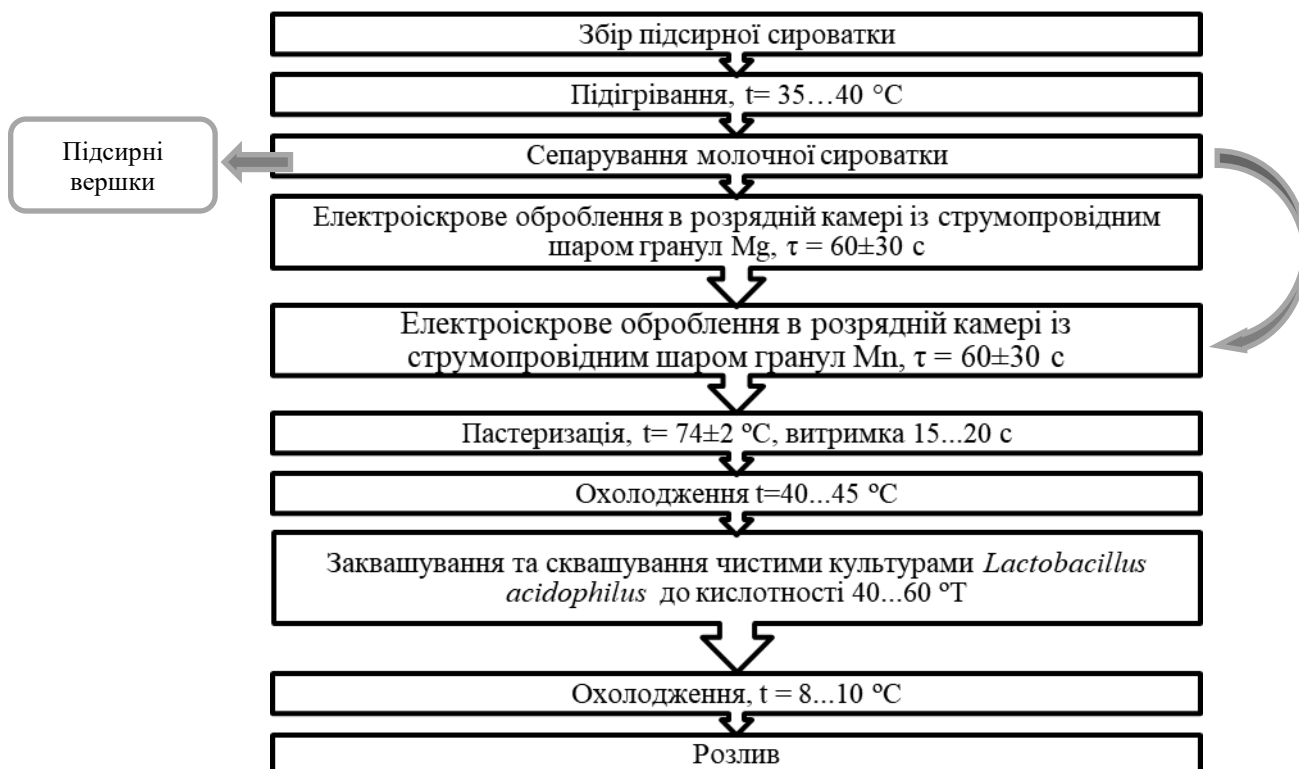


**Рисунок 6 – Динаміка ферментації молочної сироватки, обробленої в розрядній камері зі струмопровідним шаром Mg і Mn в порівнянні із необробленою молочною сироваткою**



Не зважаючи на те, що сироватка молочна, збагачена манганом, не здатна задовольнити добові потреби сільськогосподарської худоби у цьому цінному мікроелементі, але враховуючи його позитивний вплив на процес сквашування сироватки, зазначений спосіб первинного оброблення сировини доцільно застосовувати в технології сироватки молочної збагаченої для кормових цілей з метою інтенсифікації процесу ферментування за одночасного підвищення біологічної цінності продукту.

Принципова технологічна схема виробництва сироватки молочної збагаченої, виробленої із сировини, попередньо обробленої в електророзрядній камері зі струмопровідним шаром магнію і/або мангану, наведена на рис. 7.



**Рисунок 7 – Принципова технологічна схема виробництва сироватки молочної збагаченої із застосуванням електроіскрового оброблення**

Для виробництва сироватки молочної збагаченої за запропонованою технологією рекомендовано використовувати сироватку підсирну, оскільки сироватка казеїнова та кисла потребують розкислення. Технологічний процес виробництва сироватки молочної збагаченої здійснюють в такій послідовності: збирання підсирної сироватки, її підігрівання до температури 35...40 °C, сепарування для видалення жиру, електроіскрове оброблення знежиреної молочної сироватки на експериментальному технологічному комплексі в електророзрядній камері зі струмопровідним прошарком гранул магнію і/або мангану за напруги зарядки конденсатора 80...100 В, ємності конденсатора – 100 мкФ, міжелектродних проміжків 0,01...0,1 мм, тривалості оброблення 30...90 с у електророзрядній камері зі струмопровідним прошарком Mg і/або 30...90 с у електророзрядній камері із струмопровідним прошарком Mn; пастеризація за температури (74±2) °C з витриманням 15...20 с, охолодження



до температури 40...45 °С; заквашування і сквашування чистими культурами *Lactobacillus acidophilus* до наростання кислотності до 40...60 °Т; охолодження до 8...10 °С; розлив у автомолцистерни.

Отже, результати експериментальних досліджень способу електроіскрового збагачення молочної сироватки цінними мінеральними елементами та позитивний вплив Mg і Mn на організм сільськогосподарської худоби дають підстави рекомендувати його до впровадження у технологію первинного оброблення молочної сироватки для виробництва кормових продуктів як свіжих, так й ферментованих.

### **Висновки**

Встановлено такі переваги запровадження способу електроіскрового оброблення молочної сироватки в технологіях продуктів для кормових цілей:

- ✓ збагачення молочної сироватки для випоювання сільськогосподарської худоби необхідними для її організму мінеральними речовинами;
- ✓ забезпечення добової потреби у магнії на 38,6...111 % залежно від вікової категорії (молодняк, статевозрілі корови) та стану (лактаційний, сухостійний) великої рогатої худоби у разі споживання молочної сироватки згідно з рекомендованими нормами;
- ✓ виключення потреб у значних площах для запровадження інноваційного електрофізичного способу;
- ✓ зменшення потреб у ємностях за скорочення тривалості ферментації у технології сироватки молочної збагаченої;
- ✓ скорочення виробничого циклу у технології сироватки молочної збагаченої.

### **Література:**

1. Храпцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. Санкт-Петербург: Профессия, 2001. 804 с.
2. Сироватка в годівлі худоби. *Молоко і ферма*. 2014. № 2 (21). URL: <http://magazine.milkua.info/indexukr.php?id=138>
3. Shaver R. By-Product Feedstuffs in Dairy Cattle Diets in the Upper Midwest. [Інтернет ресурс]. – Режим доступу <https://shaverlab.dysci.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/204/2015/04/byproductfeedsrevised2008.pdf>
4. Дроздова Е.А., Миросников С.А., Соколова О.Я. Молочная сыворотка как дополнительный источник микроэлементов в рационе сельскохозяйственных животных. *Вестник ОГУ*. 2006. №12. С. 86-88.
5. Królczyk, J.B. Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., Sołowiej, B. Use of Whey and Whey Preparations in the Food Industry: A Review. *Polish Journal Food Nutrition Science*. 2016. Vol. 66. No. 3. P. 157–165.
6. Храпцов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки. Москва: ДеЛи принт, 2004. 587 с.
7. Патент на корисну модель, № 105892 України, МПК А23С 21/00 (2016.01). Спосіб оброблення молочної сироватки / Кочубей-Литвиненко О. В., Гранкін Г. А.; u201509277 ; заявл. 28.09.2015; опубл. 11.04.2016, бюл. 7, 2016.
8. Дурст Л., Виттман М. Кормление сельскохозяйственных животных /



пер. с нем.; под ред. И.И. Иббатуллина, Г.В. Проваторова. Винница: Нова Книга, 2003. 384 с.

9. Кліценко Г.Т., Кулик М.Ф., Косенко М.В. та ін. Мінеральне живлення тварин. Київ: Світ, 2001. 575 с.

10. Минеральный корм в кормлении животных / под ред. Л. Дурста и Л. Кремер. Немецкий союз кормления животных. 10-е издание. 2010. 100 с.

11. Дональд Е. Минеральные вещества в рационе – необходимое условие высокой продуктивности стад. Молоко, корма, менеджмент. 2010. №2 (27). С. 32-37.

12. Кулібаба С.В. Ефективність використання преміксів з вмістом халатних комплексів гліцин-гідратів Купруму, Цинку та Мангану в годівлі молочних корів: дис. канд. с.-г. наук: спец. 06.02.02 – годівля тварин і технологія кормів; Інститут тваринництва НААН. Харків, 2018. 180 с.

13. Буряков Н.П., Бурякова М.А., Караваева Е.В. Особенности кормления высокопродуктивных коров. *Рацион и ветеринария*. 2009. №5. С. 32–39.

14. Кулаков В.В. Влияние ультрадисперсного порошка железа на физиологические показатели, продуктивность свиней и качество продуктов убоя: автореф. дис. ... канд. биолог. наук: спец. 03.03.01 – физиология; ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Рязань, 2011. 21 с.

15. Коваленко Л.В., Павлов Г.В., Фолманис Г.Э. Фармакологические свойства ультрадисперсного железа низкотемпературного водородного восстановления. *Доклады РАН*. 1998. Т. 360, №4. С. 571–573.

16. Лопатько К.Г., Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Трач В.В. Фізика, синтез та біологічна функціональність нанорозмірних об'єктів: монографія. Київ: Вид-во НУБіП України, 2016. 615 с.

17. Кочубей-Литвиненко О.В., Білик О.А., Дубівко А.С., Висоцький О.О., Швець Д.П. Дослідження впливу електроіскрового оброблення на білки молочної сироватки. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26, № 6. С. 182-189.

18. Kochubei-Lytvynenko O. The effect of electrical discharge treatment of milk whey on partial conversion of lactose into lactobionic acid. *Food Science and Technology*. 2018. Vol. 12(3). P.P. 40-49.

19. Грицаева М.В., Серов А. В., Рябцева С. А., Храмцов А. Г. Лактобионовая кислота и перспективы ее использования. *Молочная промышленность*. 2008. №12. С. 51-52.

**Annotation.** Patterns of milk whey enrichment process by magnesium (1,8...4,1 times) and manganese (1,5...4,2 times) as a result of corresponding metals conductive granules electro-spark dispersion in technological electro-discharge complex in dependence from duration (30...180 s) is studied.

The nature of physico-chemical and bio-chemical processes passing in treated with electro-spark discharges milk whey is studied. The absence of negative influence on the composition of milk whey is proved. It is revealed the potential for the target functional and technological properties formation in it, particularly due to the formation of nanoparticles of biologically valuable metals and partial conversion of lactic sugar into lactobionic acid. The article shows expediency of electro-spark processing application in the technological scheme of primary whey processing for feed products. It is demonstrated daily needs provision of dairy cows in magnesium by 38.6%, dry



cows - by 50.6%, young cattle by 61... 111%, depending on live weight and average daily gain. The degree of manganese coverage covers the daily norm of cows and young animals by only 1... 2%.

The milk whey fermentation process intensification near two times due to its enrichment with nano- and ultra-sized magnesium and manganese-containing particles and increasing in lactobionic acid content, which serve as nutritious micronutrients for living lactobacilli cells, is justified.

It is shown the benefits and given recommendations for establishing of electro-spark milk whey treatment method in dairy feed products technologies.

**Key words:** milk whey, electro-spark treatment, enrichment by minerals, magnesium, manganese, feed milk products

*Стаття підготовлена в рамках Програми: «Наукове обґрунтування ресурсоефективних технологій харчових продуктів, збагачених поліфункціональними інгредієнтами» (№ держреєстрації 0120U102556).*

Статья отправлена: 20.04.2022 г.

© Кочубей-Литвиненко О.В.



УДК 664.64.016/.761

## INFLUENCE OF CONDITIONS AND DURATION OF STORAGE ON THE QUALITY OF GRAIN OF WINTER WHEAT AND PRODUCTS OF ITS PROCESSING

### ВПЛИВ УМОВ ТА ТРИВАЛОСТІ ЗБЕРІГАННЯ НА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА ПРОДУКТІВ ЇЇ ПЕРЕРОБЛЕННЯ

Gunko T.S. / Гунько Т.С.

student/студентка

University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroyiv Oborony st., 13, Kyiv - 03041, Ukraine

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Київ, Героїв оборони 13, 03041

**Анотація.** В роботі розглядаються питання щодо впливу сортових особливостей, умов та тривалості зберігання на якість зерна пшениці озимої та продукту її переробки – борошна. Автор відмічає особливості зерна пшениці та борошна, як об'єктів зберігання і відповідно їх різницю до реакції на параметри зовнішнього середовища і як результат стійкість під час зберігання. В результаті проведених досліджень було встановлено, що ціле зерно пшениці озимої добре зберігає свої якісні показники при зберіганні у сухому стані впродовж тривалого часу. Для борошна краще застосовувати зберігання в охолодженому стані, так як такий режим забезпечує більш повільне протікання змін у його якості.

**Ключові слова:** зерно, пшениця озима, борошно, зберігання, режим, якість.

#### Вступ.

Зерно пшениці озимої та продукт її переробки – борошно, як об'єкти зберігання, суттєво відрізняються між собою. Зернівка пшениці надійно зверху захищена від зовнішніх впливів за допомогою плодовою та насінною оболонкою, кожна з яких має три шари. Борошно – це продукт переробки зерна і воно складається із внутрішньої частини зернівки – клітин ендосперму. Його особливістю, як об'єкта зберігання, є той факт, що до воно складається із великої кількості тонкоподрібнених часточок, які не мають захисних оболонок і тому як результат, воно гірше зберігається [3, 4]. Процес зберігання борошна характеризується протіканням біохімічних та мікробіологічних процесів. Частина із них є позитивними і вони поліпшують його, а частина – негативними, і в результаті їх проходження якість борошна погіршується. Позитивним є дозрівання та вибілювання борошна, а негативним – його згіршення та підвищення рівня кислотності [1, 2].

Зважаючи на вищезазначене проведення досліджень щодо встановлення впливу сортових особливостей, умов та тривалості зберігання на зміни у якості зерна пшениці озимої та продукту її переробки – борошна, представляють науковий інтерес та мають практичну цінність.

#### Матеріали і методика досліджень.

Дослідження зразків зерна пшениці озимої проводили в лабораторії кафедри технології зберігання, переробки та стандартизації продукції рослинництва НУБіП України. Об'єкти досліджень: якість зерна пшениці озимої дослідних сортів та борошна на різних етапах тривалого зберігання в охолодженому стані (5...10 °С). Контроль – якість зерна озимої пшениці



дослідних сортів та якість борошна, виготовленого з нього за зберігання в сухому стані. Схему проведення досліджень наведено нижче.



Рисунок 1 – Схема проведення досліджень

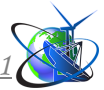
У зразках зерна пшениці озимої та в продукті її переробки (борошно) визначали наступні показники якості: 1. число падання; 2. кількість клейковини; 3. якість клейковини.

Для проведення досліджень використовувалися найбільш поширені у наукових дослідженнях та виробничій практиці методи оцінки якості зерна пшениці і продуктів його переробки.

#### Результати досліджень.

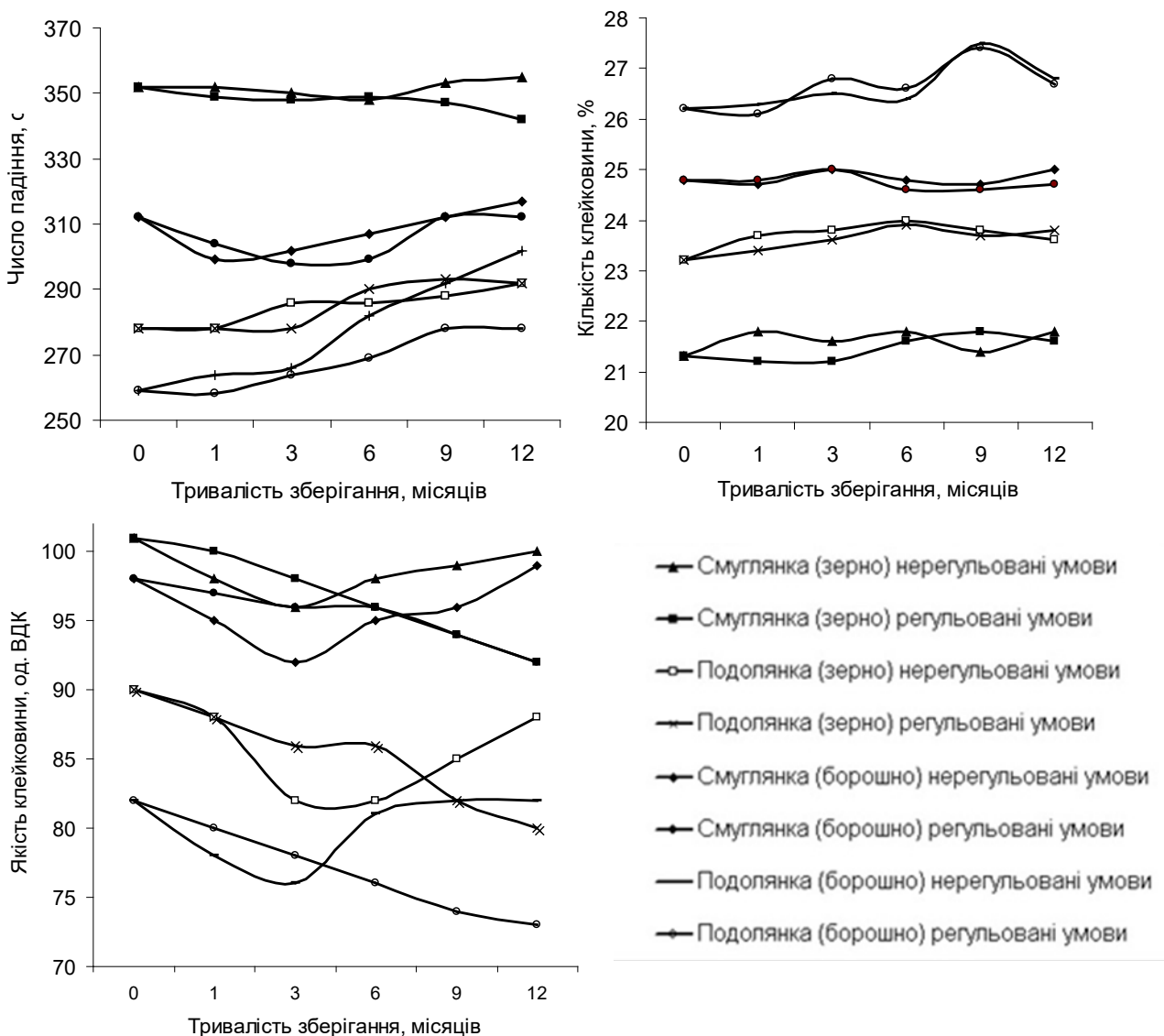
Дослідження зміни якості зерна пшениці та борошна, виготовленого із нього залежно від сортових особливостей, умов і тривалості зберігання здійснювали із використанням зразків зерна сортів озимої пшениці. Досліджували зразки сортів озимої пшениці Подолянка та Смуглянка. Дані сорти згідно Державного реєстру сортів рослин України відносяться до сильних пшениць.

Одним із найбільш важливих показників якості зерна є автолітична активність. Цей показник у зерні та борошні залежить від стану крохмалю у та власне активності нативних ензимів  $\alpha$  і  $\beta$ -амілази. Розмір зерен крохмалю впливає на їх склад, ступінь набухання, в'язкість, молекулярну масу та чутливість до дії ензимів відповідно та відіграє визначну роль у формуванні, як якісних показників самого зерна пшениці так і продуктів її переробки. У борошні нормальної якості автолітична активність ензимів незначна і не має негативного впливу на якість хліба.



Збирання зерна у дощову погоду може стати причиною його проростання. В цьому зерні підвищується активність ензимів і особливо  $\alpha$ -амілази. В результаті їх дії крохмаль трансформується у декстрини, а надалі – цукри. Це суттєво погіршує хлібопекарські властивості борошна із цього зерна. Хліб із нього має м'якуш липкий та із порожнинами і темнозбарвлену скоринку.

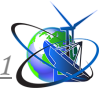
В результаті проведених досліджень було встановлено, що число падання у зерні і борошні відрізняються між собою (рис. 2а). У борошна число падання менше, ніж у зерна. Такий результат пояснюється тим фактом, що до борошна першого гатунку потрапляє менше ензимів, так як вони в основному сконцентровані у зародку та алейроновому шарі зерна, а ці складові під час переробки зерна на борошно практично повністю відділяються. Ензими ж залишаються у висівках та борошні нижчих гатунків.



**Рисунок 2 – Зміна якісних показників у зразках зерна пшениці озимої та борошні за різних режимів зберігання (нерегульовані умови – у сухому стані; регульовані умови – в охоложеному стані)**

Загалом зразки пшениці та борошна на початку зберігання мали високі значення числа падання і змінювалися залежно від сорту та виду сировини





(зерно-борошно) від 259 до 352 с (рисунок 2а). При зберіганні даний показник у зерні пшениці озимої сортів Смуглянка та Подолянка зростає, проте не суттєво. Процес зберігання борошна також супроводжувався зростанням числа падання, проте тут суттєвий вплив на його зміну мав режим зберігання.

Число падання значно більше погіршувалося при зберіганні у сухому стані, і особливо у борошні із пшениці Подолянка. Тут даний показник зріс аж на 42 с. В цілому можна зазначити, що за таких високих значень числа падання ми отримуємо тугу клейковину і як результат хліб буде блідий, міцний на жар та невеликого об'єму. Для покращення якості до тіста під час замішування необхідно додавати промислові ензими амілолітичної дії.

Вчені Беркутова Н.С. та Шведова І.А. зазначають, що під час післязбирального досягання і у наступний період (2–3 міс.), кількість клейковини суттєво не змінюється. Наші результатами узгоджується із цим твердженням. Кількість клейковини у зерні пшениці озимої Смуглянка та Подолянка при зберіганні змінилася не суттєво, і в середньому по термінах зберігання в сухому та охолодженому стані змінювалося до 0,3 % (рисунок 2б). З літератури відомо, що борошно 70 % виходу має клейковини на 2–4 % більше, ніж зерно. Ми отримали клейковини у борошні максимально на 3,5 % більше, ніж у зерні.

Контроль якості клейковини в нашій країні, на відміну від інших, має важливе значення. Це тому що у нас дуже розповсюджений клоп-черепашка, який в деякі роки ушкоджує до 20 % зерна усіх посівів. Допустимий ступінь ушкодження для використання зерна у хлібопеченні становить – 2-3 %.

Після 12 міс. зберігання якість сирої клейковини за обох режимів і у зерна і борошна покращилася - вона стала більш пружною (рисунок 2в). Проте динаміка зміни цього показника залежно від сировини (зерно-борошно) за різних режимів відрізнялася. В сухому стані клейковина укріплювалася до 3 місяців зберігання, а потім до 12 місяців розслаблялася: на 4 од. ВДК у Смуглянки та на 6 од. ВДК у Подолянки. У зерні за режиму зберігалася в охолодженому стані клейковина укріплювалася впродовж всього періоду зберігання. Так, у Смуглянки це було на 9 од. ВДК, а у сорту Подолянка – на 10 од. ВДК. Борошно, виготовлене із цієї пшениці мало міцнішу клейковину уже на початку зберігання. В процесі зберігання воно зазнавало аналогічних змін, як і зерно: в сухому стані клейковина укріплювалася впродовж усього періоду, а в охолодженому до 3–6 місяців укріплювалася а потім розслаблювалася.

### **Висновки.**

Були розглянуті питання щодо впливу умов та тривалості зберігання на якісні показники зерна пшениці озимої та продукту її переробки – борошна.

Були отримані результати, які вказують, що для довготривалого зберігання зерна та борошна краще використовувати зберігання в охолодженому стані, так як якісні показники залишаються більш стабільні, ніж у сухому стані.

### **Література:**

1. Жемела Г.П. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва Жемела Г.П., Шемавн'ов В.І., Олексюк О.М. – Полтава: РВВ "TERRA", 2003. – 420 с.



2. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов. / Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко. – П.: ГИОРД. – 2005. – 512 с.

3. Подпратов Г.І. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва / Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. – К.: Центр інформаційних технологій, 2010. – 495 с.

4. Іваненко Ф.В. Технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції: Навч. метод. посібник для самостійного вивчення дисципліни. Ф.В. Іваненко, В.М. Сінченко. – К.: КНЕУ, 2005. – 221 с.

***Abstract.** The influence of varietal characteristics, conditions and duration of storage on the quality of winter wheat grain and the product of its processing (flour) presented. The author indicated of features of wheat grain and flour as objects of storage and, accordingly, their difference in response to environmental parameters and as a result stability during storage. The results of researches established that the whole grain of winter wheat well kept the qualitative indicators at storage in a dry condition for a long time. For flour, it is better to use storage in cool state, as this regime provides a slower change of its quality.*

***Key words:** grain, winter wheat, flour, storage, regimes, quality.*

*Науковий керівник: канд. с.-г. наук, доцент Ящук Н.О.*

*Публікацію відправлено: 21.04.2022 р.*

*© Гунько Т.С.*



## MATHEMATICAL MODELING OF VACCINATION EFFECTS TO THE ANTIVIRAL IMMUNE RESPONSE

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВАКЦИНАЦІЇ НА ПРОТИВІРУСНУ ІМУННУ ВІДПОВІДЬ

Zelensky K.Kh./Зеленський К.Х.

*d.t.s., prof./д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-1501-8214

Kuzmenko D./Кузьменко Д.

*Undergraduate /магістрант*

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
Department of Biomedical Cybernetics, Prospect Peremohy, 37, 03056, Kyiv, Ukraine.*

**Summary.** *The problem of mathematical modeling of the immune response to viral infections is considered. The mathematical model of the process is described by a system of nonlinear differential equations with delay. The solution of this system of equations is carried out by an iterative numerical-analytical method using the Laplace integral transformation. The obtained results of mathematical modeling provide an opportunity to solve problems of research and forecasting the development of infectious diseases and apply the results of modeling for the diagnosis of personalized patients.*

**Key words:** *vaccination, Cauchy problem, infectious diseases, immune system, integral transformation, iterative schemes, nonlinear differential equations.*

#### 1. Introduction

Mathematical modeling is widely used to analyze the most important physiological processes in infectious diseases, when different diseases are considered from a single standpoint as a process of interaction of the immune system with pathogens. Mathematical models of infectious diseases are nonlinear systems of differential equations and contain a significant number of parameters that characterize the immune status of the organism and the properties of the antigen. The basis of mathematical models of the immune response is the fundamental work of G.I. Marchuk, [3-7, 18] whose models reflect the most significant patterns of functioning of the immune system in infectious diseases.

#### 2. Review of mathematical models in immunology

Mathematical modeling is widely used to analyze the most important physiological processes in infectious diseases, when different diseases are considered from a single standpoint as a process of interaction of the immune system with pathogens. Mathematical models of infectious diseases are nonlinear systems of differential equations and contain a significant number of parameters that characterize the immune status of the organism and the properties of the antigen. Mathematical models of the immune response are based on the fundamental works of G.I. Marchuk [3,4,7,15], whose models reflect the most significant patterns of functioning of the immune system in infectious diseases.

Traditional tasks in the field of mathematical modeling in immunology are to build and study models of the immune response and immune protection of the body in infectious diseases. Infectious disease is considered a conflict between the immune system and the population of pathogens. Mathematical models of population dynamics are based on differential equations with delay and integral equations of the



convolution type, taking into account the prehistory of dynamics. An important aspect is the consideration of groups of latently infected individuals, patients and those in remission or isolation. Latently infected individuals can move to the group of patients further - to the group of isolated patients, then vice versa.

To describe the transitions of individuals between groups should take into account the time of stay of individuals in a group in the form of some constant or variable values with a given distribution, [17—19].

The following essential characteristics of the disease are considered as phase variables of the model:

1. The concentration of antigens  $V_f(t)$  in the affected organ [parts/ml].
2. Plasma cell concentration  $C_V(t)$ , [cell/ml], is the population of producers and carriers of antibodies (immunocompetent cells).
3. The concentration of antibodies in the blood  $F(t)$ , [fraction/ ml]. They neutralize antigens.
4. Relative characteristics of the affected organ  $m(t)$ , which can be interpreted as the proportion of cells destroyed by the antigen. This is a generalized characteristic of the damage that the antigen inflicts on the target organ  $m(t) = 1 - M(t)/M^*$ , where  $M(t)$  is the number of cells in the target organ at a time  $t$ ,  $V^*$  is the number of normal cells.

The model is a system of differential equations with a delayed argument. It describes the general patterns inherent in all infectious diseases.

The mathematical model is used to analyze and simulate immunological data and clinical and laboratory data on viral hepatitis B.

Let's write the equation of balance for the number of free viruses  $V_f$  (population of viruses in the body).

$$\frac{dV_f}{dt} = \nu C_V(t) + nb_{CE} C_V(t)E(t) - \gamma_{VM} V_f - \gamma_{VF} FV_f - \gamma_{VC} V_f(t)(C^* - C_V(t) - m(t)). \quad (1)$$

Values  $\gamma_{VM}, \gamma_{VF}, \gamma_{VC}$  are considered constant. They characterize the inverse of the time of interaction of viruses  $V_f$  with macrophages, antibodies and healthy cells.

Equation of balance of virus-infected cells  $C_V(t)$ :

$$\frac{dC_V}{dt} = \sigma V_f(t)(C^0 - C_V - m(t)) - b_{CE} C_V(t)E(t) - b_m C_V(t). \quad (2)$$

Equation for the part of the body  $m$  affected by the virus:

$$\frac{dm}{dt} = b_{CE} C_V(t)E(t) + b_m C_V(t) - \alpha_m m(t), \quad \xi(m) = 1 - m/C^0. \quad (3)$$

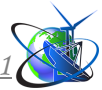
Model (1) - (3) describes the general patterns inherent in all infectious diseases.

### 3. Solution of the problem

Let's mark:

$$y_1(t) = \frac{V_f}{V_f^0}, y_2(t) = \frac{C_V}{C^0}, y_3(t) = \frac{m}{C^0}, y_4(t) = \frac{F}{F^0}, y_5(t) = \frac{P}{P^0}, \quad (4)$$

$$y_6(t) = \frac{E}{E^0}, y_7(t) = \frac{M_v}{M_v^0}, y_8(t) = \frac{H_E}{H_E^0}, y_9(t) = \frac{H_B}{H_B^0}, y_{10}(t) = \frac{B}{B^0}. \quad (5)$$



We write these equations in dimensionless form, taking into account the notation (4), (5).

$$\frac{dy_1(t)}{dt} + a_{11}y_1(t) + a_{12}y_2(t) = N_{y_1}[y]; \tag{6}$$

$$N_{y_1}[y] = n_{1,1}y_2(t)y_6(t) + [n_{1,2}(y_2(t) + y_3(t)) + n_{1,3}y_4(t)]y_1(t); \tag{7}$$

$$\frac{dy_2(t)}{dt} + a_{22}y_2(t) + a_{21}y_1(t) = c_3 + N_{y_2}[y]; \tag{8}$$

$$N_{y_2}[y] = n_{2,1}(1 - y_3(t))y_1(t - \tau)[y_2(t - \tau) - y_3(t)] + n_{2,2}y_2(t - \tau)y_6(t); \tag{9}$$

$$\frac{dy_3(t)}{dt} + a_{33}y_3(t) + a_{32}y_2(t) = N_{y_3}[y]; \tag{10}$$

$$N_{y_3}[y] = n_{3,1}y_2(t)y_6(t); \tag{11}$$

$$\frac{dy_4(t)}{dt} + f_1y_4(t) + f_2y_5(t) = N_{y_4}[y]; \tag{12}$$

$$N_{y_4}[y] = n_{4,1}y_1(t)y_4(t) + n_{4,2}y_7(t)y_4(t); \tag{13}$$

$$\frac{dy_5(t)}{dt} + p_1y_5(t) = p_3 + N_{y_5}[y]; \tag{14}$$

$$N_{y_5}[y] = n_{5,1}(1 - y_3(t))y_7(t - \tau_p)y_9(t - \tau_p)y_{10}(t - \tau_p); \tag{15}$$

$$\frac{dy_6(t)}{dt} + e_1y_6(t) = e_3 + N_{y_6}[y]; \tag{16}$$

$$N_{y_6}[y] = n_{6,1}y_7(t - \tau_E)y_8(t - \tau_E)y_6(t - \tau_E) + n_{6,2}y_7(t)y_8(t)y_6(t) + n_{6,3}y_2(t)y_6(t). \tag{17}$$

Values  $\gamma_{VM}, \gamma_{VF}, \gamma_{VC}$  characterize the inverse values of the time of interaction of free viruses with macrophages, antibodies and healthy cells, respectively.

Initial conditions

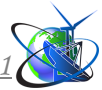
$$y_1(0) = 1, y_2 = 1, y_3(0) = 0, y_4(0) = 0,86, y_5(0) = 1, y_6(0) = 1, y_7(0) = 1. \tag{18}$$

The level of concentration of antigens  $V_f(t)$  is the main indicator of the dynamics of the disease and the functioning of the immune system.

Since equation (10) contains an expression  $b_{CE}C_V(t)E(t)$  that contains a function  $E(t)$  defined in the block of the T-cellular immune response to make independent solutions of equations describing the dynamics of processes in these blocks, we will consider only the linear part of the equation.

$$y_6^{(0)}(t) = \frac{1}{\alpha_E}(1 - e^{-\alpha_E t}) = 2,5(1 - e^{-0,4t}); y_5^{(0)}(t) = \frac{1}{\alpha_F}(1 - e^{-\alpha_F t}). \tag{19}$$

*The effect of the vaccine on the immune response.* Antibodies to HBsAg are thought to protect against further hepatitis B virus infection and should be caused by vaccination. HBsAg injections are usually given intramuscularly or subcutaneously. More than 95% of those vaccinated (with three doses, each containing 40 mg HBsAg) developed anti-HBs that persisted throughout the 24-month follow-up period. To simulate the effect of vaccination, the rate equation for the concentration,  $V_v$ , of the HBsAg vaccine  $y_7 = V_v/V_v^0$ , should be added to the model set of equation (4):



$$\frac{dy_7}{dt} + \gamma_{vM}y_7(t) = -\gamma_{VF}F^0y_4y_7; \tag{20}$$

Model equations for antigen-presenting macrophages  $M_v$  and anti-HBs immunoglobulins  $F$  need to be changed obviously to take into account the presence of HBs vaccine antigen  $y_8 = M_v = M_v/M_v^0$ :

$$\frac{dy_4}{dt} + \alpha_F y_4(t) = -\gamma_{FV}V_f^0y_4y_1 - \gamma_{FV}V_v^0y_4y_7. \tag{21}$$

A large number of scientific papers, for example, [2,9,13], are devoted to the search for solutions of systems of differential equations with a deviating argument. ] relative to the linear part of the system of differential equations.

The aim of the work is to develop a method for solving systems of nonlinear differential equations with a deviating argument based on an iterative numerical - analytical method [5].

We write this system of equations in vector form.

$$\frac{dy(t)}{dt} + Ay(t) = y_0(t) + N(y); \tag{22}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ a_{2,1} & a_{2,2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{3,2} & a_{3,3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & f_1 & f_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_1 \end{bmatrix}; \tag{23}$$

$$y_0 = [0 \ a_{2,3} \ 0 \ 0 \ p_2]^T; \tag{24}$$

$$N = [N_{y_1} \ N_{y_2} \ N_{y_3} \ N_{y_4} \ N_{y_5}]^T; \tag{25}$$

We have a Cauchy problem for the vector-matrix equation (23) with initial conditions (25)

We apply to the problem (23)—(25) integral Laplace transform.

Let us denote the Laplace transform of the desired function. Then we have

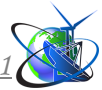
$$A(p)Y(p) = y_0/p + y(0) + \mathcal{L}[N(y)].$$

$$Y(p) = A^{-1}(p)[y_0/p + y(0)] + A^{-1}(p)\mathcal{L}[N(y)]. \tag{26}$$

$$A(p) = \begin{bmatrix} p + a_{1,1} & a_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ a_{2,1} & p + a_{2,2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{3,2} & p + a_{3,3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p + f_1 & f_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p + p_1 \end{bmatrix}. \tag{27}$$

Since the Laplace transform is a linear transformation, the search for a solution to this problem is carried out by an iterative procedure. Let us denote  $y^{(0)}(t)$  the solution of the linear part of the problem, ie without  $N(y)$  taking into account.

This system of equations can be reduced to three equations, because the



equations are relative and do not depend on  $y_4(t)$  and  $y_5(t)$  the first three variables. Then instead of (27) we will have

$$Y(p) = B^{-1}(p)[y_0/p + y(0)] + B^{-1}(p)\mathcal{L}[N(y)]. \tag{28}$$

$$B(p) = \begin{bmatrix} p + a_{1,1} & a_{1,2} & 0 \\ a_{2,1} & p + a_{2,2} & 0 \\ 0 & a_{3,2} & p + a_{3,3} \end{bmatrix}. \tag{29}$$

we have a linear approximation:

$$Y^{(0)}(p) = B^{-1}(p)[y_0/p + y(0)], \tag{30}$$

To get a solution in the form  $y_q^{(0)}(t)$ , you need to find  $B^{-1}(p)$ .

We have:

$$B^{-1}(p) = \frac{1}{\Delta_1(p)} \begin{bmatrix} (p + a_{2,2}) & -a_{1,2} & 0 \\ -a_{2,1} & p + a_{1,1} & 0 \\ \frac{a_{2,1}a_{3,2}}{p + a_{3,3}} & -\frac{a_{3,2}(p + a_{1,1})}{p + a_{3,3}} & \frac{\Delta_1(p)}{p + a_{3,3}} \end{bmatrix}. \tag{31}$$

$$\Delta_1(p) = p^2 + b_1p + b_2, \quad b_1 = a_{1,1} + a_{2,2}, \quad b_2 = a_{1,1}a_{2,2} - a_{1,2}a_{2,1}.$$

We write in vector form the initial conditions taking into account the perturbations (25).

$$d(p) = [1 \quad b_m/p \quad 0]^T;$$

We have for the linear part of the vector equation (27):

$$Y^{(0)}(p) = B^{-1}(p)d(p), \tag{32}$$

or in component form:

$$Y_k^{(0)}(p) = \frac{h_{k,0}^{(0)}}{p} + \frac{h_{k,1}^{(0)}}{p + a_{3,3}} + \frac{h_{k,2}^{(0)} + h_{k,3}^{(0)}(p + \beta_k^{(0)})}{(p + \beta_k^{(0)})^2 + (\omega_k^{(0)})^2}. \tag{33}$$

$$y_k^{(0)}(t) = h_{k,0}^{(0)} + h_{k,1}^{(0)}e^{-a_{3,3}t} + g^{y_k}(t) \tag{34}$$

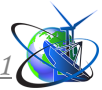
$$g^{y_k}(t) = e^{-\beta_k^{(0)}t} \begin{cases} [h_{k,2}^{(0)} \sin \omega_k^{(0)}t + h_{k,3}^{(0)} \cos \omega_k^{(0)}t] & (\omega_k^{(0)})^2 > 0, \\ [h_{k,2}^{(0)}\omega_k^{(0)}t + h_{k,3}^{(0)}\omega_k^{(0)}t] & (\omega_k^{(0)})^2 < 0; \end{cases} \tag{35}$$

The coefficients  $h_{k,i}^{(0)}$  are calculated according to the appropriate algorithms related to the integral transformations of the problem.

Next, we use the obtained solution in the linear approximation to determine the nonlinear part  $N(y)$  of the problem.

Since the nonlinear parts include expressions for  $E(t)$ ,  $F(t)$ , and implicitly  $P(t)$ , we write down the solutions of the linear approximations for these functions (to ensure the search for an autonomous solution of the system of equations with respect to the target organ).

$$y_6^{(0)}(t) = \frac{1}{\alpha_E} (1 - e^{-\alpha_E t}) = g^6(t) = h_{6,0}^{(0)} + h_{6,1}^{(0)}(\omega_6^{(0)}t) + h_{6,2}^{(0)}(\omega_6^{(0)}t); \tag{36}$$



$$[y_5^{(0)}(t) = \frac{r_3}{\alpha_p} (1 - e^{-\alpha_p t}) = g^5(t) = h_{5,0}^{(0)} + h_{5,1}^{(0)}(\omega_5^{(0)}t) + h_{5,2}^{(0)}(\omega_5^{(0)}t); \tag{37}$$

$$F^{(0)}(t) = g^4(t) = h_{4,0}^{(0)} + e^{-h_{4,4}^{(0)}t} [h_{4,1}^{(0)}(\omega_4^{(0)}t) + h_{4,2}^{(0)}(\omega_4^{(0)}t)] \tag{38}$$

Then for equation (35) you can write  $k = \overline{1,6}$  by adding the last three expressions.

Taking into account the numerical values of the parameters of this system, we construct graphs of the obtained relations.

We turn to the search for solutions of a nonlinear system of equations describing the processes in the target organ.

Taking into account the obtained solution of the system of equations in the linear approximation, we have the following expressions for the nonlinear components of this system:

$$\begin{aligned} N_{y_1} &= n_{1,1}y_2^{(0)}(t) \cdot y_6^{(0)}(t) + y_1^{(0)}(t)[n_{1,2}(y_2^{(0)}(t) + y_3^{(0)}(t)) + n_{1,3}y_4^{(0)}(t)] \\ &= n_{1,1}[h_{2,0}^{(0)} + g^2(t)](1 - e^{-\alpha_E t}) + n_{1,2}[(h_{1,0}^{(0)} + g^1(t))(h_{2,0}^{(0)} + g^2(t)) + (h_{1,0}^{(0)} + g^1(t))(h_{3,0}^{(0)} + g^3(t))] \\ &\quad + n_{1,3}(h_{1,0}^{(0)} + g^1(t))(h_{4,0}^{(0)} + g^4(t)). \end{aligned} \tag{39}$$

Substitute the expressions for  $g^1(t)$ ,  $g^2(t)$ ,  $g^3(t)$ ,  $g^4(t)$  (solution of the linear part of the system of equations) and perform the corresponding transformations using the program ftgtp, the output of which is an expression in Laplace image space.

$$\overline{N}(y_1) \approx \frac{z_2^1}{p} + \frac{z_0^1 p + z_1^1}{p^2 + z_4^1 p + z_3^1}.$$

$$\begin{aligned} N_{y_1}^{(0)}(t) &= F(y_1^{(0)}, y_2^{(0)}, y_3^{(0)}, y_4^{(0)}) = \\ &= r_0^1 + r_1^1 e^{-\alpha_m t} + r_6^1 e^{-2\beta_k^{(0)}t} + e^{-(\alpha_m + \beta_k^{(0)})t} [r_4^1 \cos \omega_k^{(0)}t + r_5^1 \sin \omega_k^{(0)}t] \\ &\quad + e^{-\beta_k^{(0)}t} [r_2^1 \cos \omega_k^{(0)}t + r_3^1 \sin \omega_k^{(0)}t] + e^{-2\beta_k^{(0)}t} [r_7^1 \cos 2\omega_k^{(0)}t + r_8^1 \sin 2\omega_k^{(0)}t]. \end{aligned} \tag{40}$$

Now we can apply the Laplace transform to the expression (41). We get:

$$\mathcal{L}[N_{y_1}] = \frac{r_0^1}{p} + \sum_{k=1}^4 \frac{v_{6k-6}^1 p + v_{6k-5}^1}{p^2 + v_{6k-2}^1 p + v_{6k-3}^1}. \tag{41}$$

Applying to this expression an algorithm of equivalent simplification to the chain of the second order leads to the following expression:

$$\mathcal{L}[N_{y_1}^{(0)}] \approx \frac{v_0^1}{p} + \frac{\overline{v}_0^1 p + \overline{v}_1^1}{p^2 + \overline{v}_4^1 p + \overline{v}_3^1} \tag{42}$$

where through  $\overline{v}_k^2$ ,  $k = \overline{0,5}$ , the coefficients obtained as a result of simplification of fractional-rational expression are indicated.

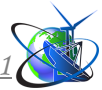
The nonlinear part is relative  $C_V(t)$ . The nonlinear part is relatively  $C_V(t)$  uniform

$$\begin{aligned} N_{y_2}^{(0)} &= \sigma y_1^{(0)}(t - \tau)[y_2^{(0)}(t - \tau) - y_3^{(0)}(t)] + n b_1^C y_2^{(0)}(t - \tau) E^{(0)}(t) \\ &= u_0^2 + \sum_{k=1}^3 \{e^{-\beta_k^{(0)}t} [u_{3k-3}^2 + u_{3k-2}^2 \cos(\omega_k^{(0)}t - \tau^{(k)}) + u_{3k-1}^2 \sin(\omega_k^{(0)}t - \tau^{(k)})]\}; \end{aligned} \tag{43}$$

The coefficients  $u_j^2$ ,  $j = \overline{1,9}$ , are calculated by the formulas obtained by the corresponding transformations:

$$\beta_k^{(0)} = [\beta_k^{(0)}, 2\beta_k^{(0)}, 2\beta_k^{(0)}]; \omega_k^{(0)} = [\omega_k^{(0)}, 2\omega_k^{(0)}, 2\omega_k^{(0)}], \tau^{(k)} = [\omega_k^{(0)}\tau, 2\omega_k^{(0)}\tau, \omega_k^{(0)}\tau].$$





In the space of images this expression corresponds

$$\bar{N}_{y_2}^{(0)}(p) = \frac{\bar{u}_0^2}{p} + \sum_{k=1}^3 e^{-\tau^{(k)}} p \left[ \frac{d_0^{(k)}}{p} + \frac{d_1^{(k)}(p + \beta_k^{(0)}) + d_2^{(k)}\omega_k^{(0)}}{(p + \beta_k^{(0)})^2 \pm (\omega_k^{(0)})} \right]. \tag{44}$$

The presence of a delay factor leads to a nonlinear fractional-rational expression.

We also approximate [5] the multiplier  $e^{-p}$  by a fractional-rational expression, limiting ourselves to the second order of approximation:

$$e^{-\tau^{(k)}} p \approx \frac{12 - 6\tau^{(k)} p + (\tau^{(k)})^2 p^2}{12 + 6\tau^{(k)} p + (\tau^{(k)})^2 p^2}. \tag{45}$$

Then:

$$\bar{N}_{y_2}(p) = \frac{\bar{u}_0^2}{p} + \sum_{k=1}^3 \frac{p^3 + r_1^{(k)} p^2 + r_2^{(k)} p + r_3^{(k)}}{p^4 + q_1^{(k)} p^3 + q_2^{(k)} p^2 + q_3^{(k)} p + q_4^{(k)}} \approx \frac{\bar{u}_0^2}{p} + \frac{\bar{v}_0^2 p + \bar{v}_1^2}{p^2 + \bar{v}_4^2 p + \bar{v}_3^2}. \tag{46}$$

We obtain the expression for the nonlinear part of the equation with respect to  $m(t)$ .

$$\begin{aligned} N_{y_3} = N_m &= b_1^C C_v(t) E(t) = b_1^C C_V^{(0)}(t) E^{(0)}(t) = b_1^C [h_{3,0}^{(0)} + h_{3,1}^{(0)} e^{-\alpha_m t} + g_3(t)] E^0 (1 - e^{-\alpha_E t}) \\ &= b_1^C E^0 [h_{3,0}^{(0)} - h_{3,0}^{(0)} e^{-\alpha_E t} + h_{3,1}^{(0)} e^{-\alpha_m t} + h_{3,1}^{(0)} e^{-(\alpha_m + \alpha_E)t} + g_3(t) - e^{-\alpha_E t} g_3(t)] \end{aligned} \tag{47}$$

In the image space, this expression corresponds to:

$$\mathcal{L}[N_{y_3}(t)] = \frac{\bar{v}_0^3}{p} + \sum_{k=0}^2 \frac{v_{6k}^3 p + v_{6k+1}^3}{p^2 + v_{6k+4}^3 p + v_{6k+3}^3} \approx \frac{\bar{v}_1^3}{p} + \frac{\bar{v}_0^3 p + \bar{v}_1^3}{p^2 + \bar{v}_4^3 p + \bar{v}_3^3}. \tag{48}$$

Using the algorithm of equivalent simplification of fractional-rational functions [5], the expression for Laplace image in space takes the form

$$\mathcal{L}\{N_{y_k}\} = N^k(p) = \frac{r_2^k}{p} + \frac{r_0^k + r_1^k p}{p^2 + r_4^k p + r_3^k}. \tag{49}$$

Substitute the resulting expressions in ((??)).

$$Y^{(m)}(p) = Y^{(0)}(p) + B^{-1}(p) N_y^{(m-1)}(p) = Y^{(0)}(p) + V(p), \quad m = 0, 1, 2, \dots \tag{50}$$

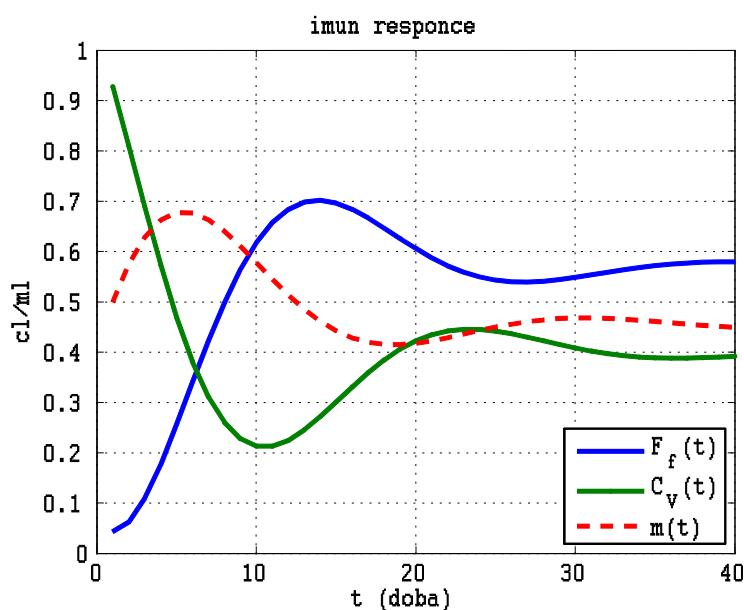
$$V(p) = \begin{bmatrix} \frac{p + b_m}{\Delta_1} & \frac{v}{\Delta_1} & 0 \\ \frac{\alpha C^0}{\Delta_1} & \frac{p + a_{V_f}}{\Delta_1} & 0 \\ \frac{\alpha C^0 b_m}{(p + \alpha_m)\Delta_1} & \frac{b_m(p + a_{V_f})}{(p + \alpha_m)\Delta_1} & \frac{1}{p + \alpha_m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{r_2^1}{p} + \frac{r_1^1 p + r_0^1}{p^2 + r_4^1 p + r_3^1} \\ \frac{r_2^2}{p} + \frac{r_1^2 p + r_0^2}{p^2 + r_4^2 p + r_3^2} \\ \frac{r_2^3}{p} + \frac{r_1^3 p + r_0^3}{p^2 + r_4^3 p + r_3^3} \end{bmatrix}. \tag{51}$$

After performing the appropriate actions in this expression, moving to the space of the originals and adding linear parts according to (51) we obtain the solution of the system of equations in the first approximation in this form.

$$\begin{aligned} y_k^{(1)}(t) &= q_1^k + q_2^k e^{\alpha_m t} + e^{-\beta_k^{(0)} t} [q_1^{(k)} \cos \omega_k^{(0)} t + q_2^{(k)} \sin \omega_k^{(0)} t] \\ &+ e^{-\gamma_k t} [v_1^{(k)} \cos \omega_k^{(0)} t + v_2^{(k)} \sin \omega_k^{(0)} t], \quad k = \overline{1, 7}. \end{aligned} \tag{52}$$

These expressions take into account the solution of the system of equations in the linear approximation. Subsequent calculations are performed by similar algorithms, which include the product of fractional-rational expressions in Laplace image space in the form of terms of the simplest chains (first and second degree), reduction of similar and record the results in the original space in a similar form.

Let us plot the obtained solution in the first approximation.



#### 4. Conclusions.

The model of antiviral immune response of the target organ as a basic model of infectious disease is considered. An iterative numerical-analytical method for solving the Cauchy problem for a system of nonlinear differential equations is proposed, which makes it possible to obtain a solution in quadratures. The basis of this method is an iterative numerical-analytical method for solving nonlinear boundary value problems using algorithms for approximating fractional-rational expressions. The results of the model research provide an opportunity to obtain preliminary information about possible regimes of the epidemic process and use this information to plan experiments in a stochastic setting.

The proposed method for solving nonlinear boundary value problems can be used to solve a wide range of nonlinear problems in mathematical physics.

#### Bibliography

1. Bolodurina IP, Lugovskova Yu.P. Optimal control of immunological reactions of the human body Management problems. 2009, № 5, pp. 44--52.
2. Bocharov GA Numerical experiments with a mathematical model of the T-cell immune response Computational processes and systems. Issue. 3 / under ed. G.I. Marchuk. M.: Nauka, 1985, S. 208--218.
3. Bocharov GA, Romanyukha AA Mathematical model of antiviral immune response III. Influenza A. viral infection. Journal of Theoretical Biology, 1994, vol. 167, vol. 4, p. 323--360.
4. Bocharov GA, Marchuk GI Applied Problems of Mathematical Modeling in Immunology Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2000, T. 40, № 12, S. 1905--1920
5. Zelensky K., Bovsunovskaya K., Bolkhovitin V. Algorithmic support for solving nonlinear boundary value problems of heat and mass transfer. Modern engineering and innovative technologies, Issue 15, Part 1, 2021, p. 6--12.
6. Infectious human diseases. Dynamics and control (translated from English by AA Romanyukha, SG Rudneva) / ed. G. I. Marchuk. M.: Nauchnyi mir, 2004, 784 p.



Marchuk GI, Romanyukha AA, Bocharov GA Mathematical modeling of antiviral immune response in viral hepatitis B. Mathematical problems of cybernetics. Issue. 2 / under ed. S.V. Yablonsky. - M.: Nauka, 1989, S. 5--70.

8. Nechepurenko Yu. M., Grebennikov DS, Bocharov GA Analysis of the bistability of models of viral infections with a delayed argument. M. W. Keldysha, 2019, №17, 26 p.

9. Трысов П.В. etc. Regulation of the antiviral immune response of the organism: mathematical model, qualitative analysis, results Mat. biol. and bioinf. , 2018, №13 (2), pp. 402--425.

10. Chirkov MV Methods of modeling and controlling the immune response in conditions of uncertainty. Diss ... Ph.D. Sciences, Perm, 2017, 133 p.

11. Forys U. Global analysis of Marchuk's model in a case of strong immune system J. Biol. Sys., 2000, V. 8, N 4, P. 331--346.

12. Graw F., Perelson A. S. Modeling Viral Spread Annual review of virology. 2016, Vol. 3, P. 555--572.

13. Kabanikhin SI, Krivorotko OI Inverse problems of immunology and epidemiology Eurasian Journal of Math. and Computer Applications. 2017, V. 5, Issue 2, P.14--35.

14. Marchuk GI Mathematical modeling of immune response in infectious diseases. - Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2013, 350 p.

15. Marchuk GI, Petrov RV, Romanyukha AA, Bocharov GA Mathematical model of antiviral immune response. I. Data analysis, generalized picture construction and evaluation parameters for hepatitis B. Journal of Theoretical Biology, 1991, vol. 151, no. 1, pp. 1--40.

16. Winter F., Andersen M., Ottesen J.T. The minimal model of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. Journal of Mathematical Biology, 2011, vol. 63, no. 4, pp. 663--690.

17. Nelson P.W., Perelson A.S. Mathematical analysis of delay differential equation models of HIV-1 infection. Math. Biosci. 2002. No. 179. P. 73--94.

18. Pawelek K., Liu S., Pahlevani F., Rong L. A model of HIV-1 infection with two time delays: mathematical analysis and comparison with patient data. Math. Biosci. 2012. V. 235. No. 1. P. 98--109. doi: 10.1016 / j.mbs.2011.11.002

19. Pitchaimani M., Monica C. Global stability analysis of HIV-1 infection model with three time delays. J. Appl. Math. Comput. 2015. V. 48. P. 293--319. doi: 10.1007 / s12190-014-0803-4

**Анотація.** Розглядається задача математичного моделювання імунної відповіді на вірусні інфекції. Математична модель процесу описується системою нелінійних диференціальних рівнянь із запізненням. Розв'язання цієї системи рівнянь здійснюється ітераційним числово-аналітичним методом із застосуванням інтегрального перетворення Лапласа. Отримані результати математичного моделювання надають можливість вирішувати задачі дослідження і прогнозування розвитку інфекційних захворювань та застосовувати результати моделювання для діагностики персоналізованих хворих.

**Ключові слова:** вакцинація, задача Коші, інфекційні захворювання, імунна система, інтегральне перетворення, ітераційні схеми, нелінійні диференціальні рівняння.



УДК 004

**APPLICATION OF MODIFICATIONS OF GENETIC ALGORITHM FOR SERVICES****ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКАЦІЙ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ НАДАННЯ ПОСЛУГ****Hrybkov S.V. / Грибков С.В.***d.t.s., as.prof. / д.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-2552-2839

**Yuschuk I.V. / Ющук І.В.***senior lecturer / старший викладач*

ORCID: 0000-0003-1420-0356

**Yuschuk P. O. / Ющук П.О.***bachelor student / студент бакалаврата*

ORCID: 0000-0001-8255-168X

*National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska 68, 01601  
Національний університет харчових технологій, Київ, Володимирська 68, 01601*

**Анотація.** У роботі було проведено дослідження проблеми ефективного розподілення замовлень між виконавцями у сфері надання послуг. Було розглянуто огляд літературних модифікацій генетичного алгоритму, проведено апробацію розглянутих модифікацій та доцільність їх використання у сфері надання послуг для визначення ефективного розподілення роботи.

**Ключові слова:** управління виконання замовлень, надання послуг, генетичний алгоритм.

**Вступ.**

Швидка зміна технологічної епохи на епоху інформаційно-технологічну спонукає до усвідомлення невідворотних змін, які очікують сферу обслуговування. Усі технологічні революції в історії людства характеризувалися всеосяжним впливом, проникненням у всі сфери людської діяльності не лише як зовнішнє джерело. Інтегральною частиною життєвого середовища стають фірми з надання послуг ремонту, підтримки та налагодження комп'ютерної техніки. Діяльність таких фірм пов'язана з тим, що більшість людей працюють віддалено, а невеликим компаніям не виникає потреба формувати окремий відділ технічного обслуговування. Спектр послуг даного сектору дуже великий, адже може включати в себе багато різних послуг: від встановлення програмного забезпечення до закупівлі техніки для невеликого офісу та прокладання в ньому мережі.

Виконання замовлень відбувається за принципом черги їх надходження, а також наявності матеріалів, кваліфікації та можливостей спеціалістів, щоб їх виконувати. У випадках, коли одночасно виникають замовлення різної складності, а самі замовники мають різний пріоритет, необхідно орієнтуватися на можливості спеціалістів-виконавців і формувати оптимальний розклад виконання замовлень. В таких випадках необхідно приймати рішення про відмову замовлень, або чітко визначати час її виконання. Від виконавця встановлюються умови, тому він обирає замовлення від своєї кваліфікації. Менеджер з прийому замовлень визначає усі нюанси замовника, і в залежності від необхідних термінів, визначає пріоритетність виконання.



На сьогоднішньому ринку представлені подібні системи для використання фірм з обслуговування, але більшість з них орієнтовані на принцип, хто перший замовив, той отримує послугу. А також більшість з них направлено на облік матеріалів та контроль виконання замовлень.

Тому актуальною прикладною задачею є пошук та адаптація алгоритмів і методів для формування послідовності виконання замовлень для фірм з надання послуг та формування задач для кожного з виконавців.

### **Аналіз літературних джерел**

Враховуючи те, що задача відноситься до задач про призначення, яка є однією з базових задач комбінаторної оптимізації в галузі економічної оптимізації та дослідження операцій, вона належить до класу багатокритеріальних NP-складних комбінаторних задач. Такі задачі характеризуються тим, що із зростанням кількості вхідних даних зростає час на її розв'язання [1].

Умовно математичні методи вирішення задачі розподіляють на: точні та наближені методи. До наближених методів відносять: генетичні алгоритми та еволюційні стратегії, евристичні методи, метаевристичні методи, імітаційне моделювання [2-4].

Робота [5] присвячена створенню математичної моделі задачі планування виконання для підприємствах, які діють у сфері надання послуг. Крім того в роботі розроблено комбінований алгоритм для вирішення задачі планування на основі АСО алгоритму та генетичного алгоритму. А також в роботі приведено структура системи підтримки прийняття рішень для планування виконання договорів, а також розглянуто технології, використані для її практичної реалізації. Але робота [5] не враховує специфіку можливостей та кваліфікацію виконавців.

В роботі [6] запропоновано інформаційну технологію для розв'язання задачі планування виконання замовлень по виготовленню продукції на харчових підприємствах на основі алгоритму «зграї вовків» та генетичних алгоритмів з використанням модифікованої математичної моделі виконання замовлень.

Аналіз літературних джерел показав, що для таких задач, достатньо знайти наближені рішення, які знаходяться достатньо швидко і є достатньо точними для необхідних цілей. Одним з поширених алгоритмів для вирішення поставленої задачі є генетичний алгоритм, який забезпечує формування та знаходження наближеного рішення за скорочений час [7-13].

### **Генетичний алгоритм та підходи його застосування**

Генетичні алгоритми відносяться до класу процедур випадкового пошуку, які не зводяться до безладного блукання в пошуковому просторі допустимих рішень. Завдяки можливості ефективного використання досвіду, набутого кожною популяцією в визначенні нової області пошуку рішень в них передбачається поліпшення значення цільової функції.

Механізм кожного генетичного алгоритму завжди складається із трьох основних операторів [2, 8]:

- Репродукція – процес, в якому хромосоми обираються із кращим



значенням цільової функції. Оператор репродукції є штучною версією натуральної селекції, тобто виживанням найсильніших.

- Кроссовер – схрещування батьківських пар, генерація нащадків.
- Мутація – дія випадкових чинників.

Загальна послідовність «генетичного алгоритму» має такий вигляд [2, 8]:

1. Обрання необхідної кількості осіб у популяції ( $K$ ). Задаємо відлік часу  $t = 0$ .
2. Формування початкової популяції  $P_0$ , що складається з  $K$  осіб випадковим чином.
3. Визначення для кожної особи функції пристосованості  $F(x) = fitness(x)$ ,  $i = 1 \dots k$  і популяції в цілому  $F_t(x) = fitness(P_0)$ .
5. Перевірка умови припинення роботи, яка визначена виконанням усіх обмежень та знаходженням такого рішення, що повторюється з популяції в популяцію, якщо виконується, то КІНЕЦЬ.
6. Обирання з певною ймовірністю особи із високою пристосованістю з попереднього покоління для схрещування. Запис у банк генів  $GP$ .
7. Випадкова селекція половини батьківських пар типу  $A$  і  $B$  із банку генів  $GP$  та з певною ймовірністю  $P_x$ , яка залежить від  $f(x)$  і розташування їх у тимчасовій популяції  $TP$ .
8. Схрещення обраних батьківських пар типу  $A$  та  $B$  із банку генів  $GP$  з ймовірністю схрещування  $P_c$  для отримати нащадків типу  $C$  і  $D$ .
9. Розміщення половини нащадків типу  $C$  і  $D$  у тимчасову популяцію  $TP$ .
10. З певною ймовірністю  $P_m$  виконати мутацію особин із тимчасової популяції  $TP$ , при чому  $P_m \ll P_c$ .
11. Розміщення отриманої хромосоми в новій популяції  $P = TP$ .
12. Виконання операції, починаючи з пункту 3,  $k$  раз.
13. Збільшення номера поточного часу  $t = t + 1$ .
14. Якщо виконалась умова зупинки, то завершити роботу, а інакше здійснити перехід на крок 3.
15. КІНЕЦЬ.

До найбільш поширених модифікацій генетичних алгоритмів, що дозволяють розв'язувати задачі багатокритеріальної оптимізації, є такі [2, 10, 11]:

- SPEA – Strength Pareto Evolutionary Algorithm;
- VEGA – Vector Evaluated Genetic Algorithm;
- FFGA – Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm;
- NPGA – Niche Pareto Genetic Algorithm.

У методі SPEA створюється архів, призначений для зберігання недомінуючих рішень.

Кількість індивідів, які включаються в архів, регулюється процедурою кластеризації. Визначення значень придатності індивідів у методі SPEA здійснюється тільки щодо індивідів зовнішньої множини, які беруть участь у селекції на рівні з іншими членами популяції [9-10].

Загальну роботу методу SPEA доцільно представити так:



1. Сформувати первісну популяцію  $P_0$  і порожню зовнішню множину (архів)  $A = \emptyset$ ,  $t = 0$ .
2. Модернізувати зовнішню множину.
  - 2.1. Визначити проміжну зовнішню множину  $A' = A_t$ .
  - 2.2. Скопіювати рішення, що не домінують відносно  $A_t$  у множині  $A'$ , і вираховуються таким виразом:
 
$$A' : A = A \cup \{x \mid x \in A_t \cap x \in p(A_t)\}.$$
  - 2.3. Видалити із множини  $A'$  особи, які слабо домінують відносно  $A'$ . При цьому, якщо існує пара осіб  $x, y \in A'$  і  $x \succ y$ , тоді  $A' = A' - \{y\}$ .
  - 2.4. За допомогою процедури кластеризації зменшити кількість осіб, які зберігаються у зовнішній множині, і помістити результат зменшеної множини в  $P_t + 1$ .
3. Вирахувати значення придатності індивідів  $P_t$  та  $A'$ .
4. Селекція. Покласти  $A' = \emptyset$  і виконати для  $s=1, N$  такі дії.
  - 4.1. Випадково вибрати двох індивідів  $x, y \in A' \cup P_t$ .
  - 4.2. Якщо  $F(x) < F(y)$  при рішенні задачі мінімалізму, то  $A' = A' \cup \{x\}$ , в іншому випадку  $A' = A' \cup \{y\}$ .
5. Рекомбінація.
6. Мутація.
7. Закінчення. Результат  $P_t + 1 = A'$  та  $t = t + 1$ .

Якщо  $t \geq T$ , де  $T$  – максимальна кількість поколінь, то з останніх популяцій відбираються недомінантні особи. Якщо  $t < T$ , тоді потрібно повернутись до кроку 2. Етапи 5 і 6 (рекомбінація і мутація) проводяться згідно з загальною схемою генетичного алгоритму [2, 10]. Етап призначення придатності відрізняється від подібного в загальному еволюційному алгоритмі і реалізується за такою схемою.

1. Кожному індивіду  $x \in A_t$  присвоюється значення  $S(x) \in [0,1]$ , що має назву «сила» (або вага) особи. Значення «сили» пропорційно кількості членів популяції  $y \in P_t$ , для яких  $x > y$  (1).

$$S(x) = \frac{\{y : y \in P_t \cap x > y\}}{N + 1}. \quad (1)$$

Таким чином, придатність особи  $x$ , що належить архіву, дорівнює її силі:  $F(x) = S(x)$ .

2. Придатність особи  $y \in P_t$  визначається таким чином (3.20):

$$F(y) = 1 + \sum_{x \in A', x > y} S(x). \quad (2)$$

При цьому, чим менша пристосованість, тим більше шансів у особи перейти в наступне покоління.

У генетичному алгоритмі VEGA створюються часткові популяції з



однаковою чисельністю осіб. Кожному  $n$ -у критерію  $F_n$  відповідає підмножина часткової популяції хромосом  $P_n$  цілої популяції  $P$ .

У кожній частковій популяції  $P_n$  виконується незалежна селекція згідно з критерієм  $F_n$ . Однак асоціація і схрещування осіб виконуються для всієї популяції [2, 10, 12].

У цьому алгоритмі селекція виконується турнірним методом. Причому найкраща особа в кожній частковій популяції обирається на основі своєї функції пристосованості.

Найкраща особа з кожної підпопуляції змішується з іншими особами, і всі інші генетичні операції проводяться аналогічно алгоритму при оптимізації однієї функції. Недоліком методу VEGA є те, що в ньому не враховуються проміжні рішення. Оптимальні рішення в сенсі Парето, які є допустимими для всіх критеріїв, але не задовольняють будь-якого із скалярних критеріїв [10].

FFGA – це метод, який використовує ранжування осіб, засноване на Парето-домінуванні. Рангом у даному методі називається число осіб, що домінують над заданою особою. В методі використовується процедура придатності, яку можливо описати таким чином [10].

1. Для кожної особи  $S_j$ ,  $j=1..N$  з популяції  $P_0$ , де  $N$  – розмір популяції, розраховується ранг  $r_j=1+i$ ,  $i \in P_0$ ,  $i>j$ .

2. Популяція сортується за значенням рангу  $r$ , потім кожній особі  $S_j$ ,  $j=1..N$  призначається так звана неповна придатність  $F_j'$  за допомогою інтерполяції. При цьому опорними точками для інтерполяції обираються точки гіршої  $F_j'=1$  для особи  $S_j$ , ранг якої максимальний, і кращої  $F_j'=N$  для особи  $S_j$ , ранг якої мінімальний.

3. Обчислюється підсумкова придатність за допомогою усереднення «сирої» придатності особи  $S_r$  з однаковими рангами (3).

$$F_{S_r} = \sum_{s=1}^n \frac{F'(S_r)}{n}, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість осіб з однаковим рангом.

У методі NPGA етап призначення придатності замінюється модифікованою схемою розподілу придатності з використанням поняття ніші, яка визначається для індивідів у просторі альтернатив або цільових функцій і забезпечує можливість підтримки різноманітності, дозволяючи отримати рішення [10, 11].

Для апробації розглянутих модифікацій була використана система підтримки прийняття рішень, запропонована в роботі [6], адже один із авторів є її розробником, а частково розглянуті методи були в ній реалізовані. Усі розглянуті модифікації були реалізовані окремими модулями мовою Java. Для рішення саме поставленої задачі усі модифікації показали чудовий результат. Створені модулі забезпечать вирішення поставленої задачі через веб-інтерфейс, що забезпечить швидкість та якість обслуговування.





## Висновки

У роботі було проведено дослідження актуальної прикладної задачі пошуку та адаптації алгоритмів і методів для формування послідовності виконання замовлень для фірм з надання послуг та формування задач для кожного з виконавців. Було проведено огляд літературних модифікацій генетичного алгоритму. Для вирішення поставленої задачі виділено наступні модифікації генетичного алгоритму: Strength Pareto Evolutionary Algorithm; Vector Evaluated Genetic Algorithm; Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm; Niche Pareto Genetic Algorithm. Проведено апробацію розглянутих модифікацій, що підтверджує доцільність їх використання у сфері надання послуг для визначення ефективного розподілення роботи.

В рамках науково-дослідної роботи кафедри інформатики НУХТ відбувається створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень, що базується на використанні розглянутих модифікацій генетичного алгоритму для вирішення задач управління підприємств та фірм.

## Література:

1. Карпенко А. П. (2016) Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 448 с.
2. M. Gendreau, and J.-I. Potvin, Handbook of metaheuristic. 3rd ed., Springer International Publishing: Cham, 2019.
3. Левитин А. В. (2006) Метод грубой силы: Задача о рюкзаке, Алгоритмы: введение в разработку и анализ = Introduction to The Design and Analysis of Algorithms. М.: Вильямс, С. 160-163.
4. Романовская А. М., Мендзив М. В. (2010) Динамическое программирование: Учебное пособие. Омск. 58 с.
5. Hrybkov S. V., Lytvynov V. A., Oliinyk H. V. (2018). Web-Oriented decision support system for planning agreements execution. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3/2. (99) P. 13–24.
6. Hrybkov S., Kharkianen O., Ovcharuk V., Ovcharuk I. (2020) Development of Information technology for planning order fulfillment at a food enterprise. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 1/3. (103) P. 62-73.
7. Garg R., Mittal S. (2014) Optimization by Genetic Algorithm. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. Vol. 4 (4). P. 587–589.
8. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Cambridge, Massachusetts: re-issued by MIT Press, 1992. 217 p.
9. Santosh K. S., Vinod, K. G. Genetic Algorithms: Basic Concepts and Real World Applications. International Journal of Electrical. Electronics and Computer Systems (IJECS). 2015. N 3 (12). P. 116–123.
10. Сетлак Г. Решение задач многокритериальной оптимизации с использованием генетических алгоритмов. System Research & Information Technologies. 2002. N 3. С. 32–42.
11. Белецкая С. Ю., Асанов Ю. А., Поваляев А. Д., Гаганов А. В. Исследование эффективности генетических алгоритмов многокритериальной



оптимизации. Вестник ВГТУ. 2015. № 1. С. 10–14.

12. Грибков С. В., Загоровська Л. Г., Бровченко Н. Н. Використання генетичних алгоритмів для розв'язання задачі складання розкладу замовлень. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2011. № 6/4 (54). С. 45–48.

***Abstract.** The research of the actual applied task of search and adaptation of algorithms and methods for formation of sequence of execution of orders for firms on rendering of services and formation of tasks for each of executors was carried out. A review of the literature modifications of the genetic algorithm was performed. To solve this problem, the following modifications of the genetic algorithm are identified: Strength Pareto Evolutionary Algorithm; Vector Evaluated Genetic Algorithm; Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm; Niche Pareto Genetic Algorithm. Approbation of the considered modifications is carried out, which confirms the expediency of their use in the field of service provision to determine the effective division of labor.*

***Keywords:** order fulfillment management, service provision, genetic algorithm.*

Статья отправлена: 24.04.2022 г.  
© Грибков С.В., Ющук П.О., Ющук І.В.



UDC 629.238

## INNOVATIONS THAT CHANGED MODERN PRINTING INDUSTRY ІННОВАЦІЇ, ЩО ЗМІНИЛИ СУЧАСНУ ПОЛІГРАФІЮ

Bezrodnova A.S./ Безроднова А.С.

*Student / студент*

Medin I.O./Медін І.О.

*Student / студент*

Hlushko P.O./Глушко П.О.

*Student / студент*

Matvieieva T.V./ Матвєєва Т.В.

*PhD / к.пед.н, доцент кафедри*

ORCID: 0000-0003-4079-4901

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
Kyiv, Av.Peremogy, 37, 03056**Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

**Abstract:** This article focuses on the reasons why printing industry is a substantial example of effectuation of new technologies and innovations. We analyzed that in order to remain competitive, both small businesses and large corporations are encouraged to learn new tools and constantly update their knowledge to achieve a higher position in the marketplace, especially in the hardware and software industry.

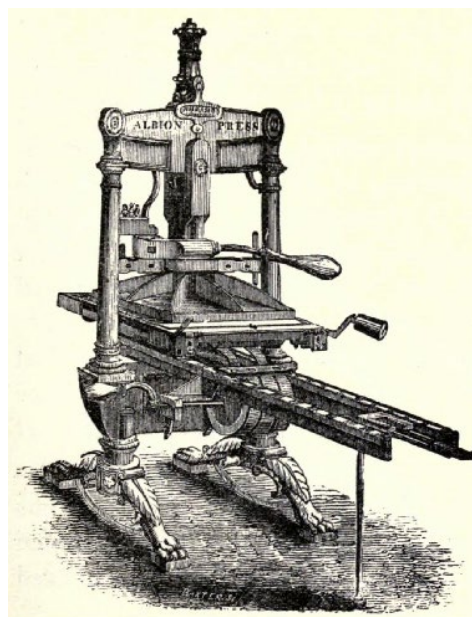
**Key words:** technology, printing, 3D-printing, color.

Over the last couple of years, the steady pace of technology development has changed many established ways of completing tasks and accomplishing projects.

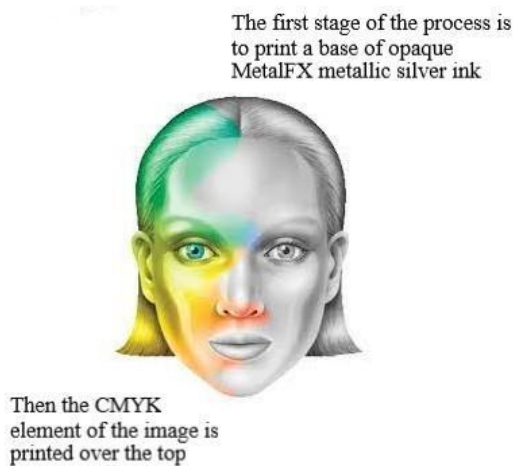
In the 1450s Johann Gutenberg introduced the movable typewriter in the German city of Mainz. This presentation launched the global printing revolution, which led to the widespread dissemination of new ideas and information through printed text.

Various literary works, religious writings, treatises, scholarly works and legal texts spread quickly throughout Europe. The printing revolution is considered the most important event in the history of printing. It is even considered one of the crucial turning points in human history today. In terms of influence, the global spread of ideas and knowledge has surpassed only by the emergence of the information age in the last three decades.

The modern printing industry may not be able to make an invention which will surpass significance of the Gutenberg press. However, there are still some innovations worth mentioning over the last couple of decades. The Industrial Revolution's accomplishments (as an example, offset printing) and advances during the second half of the 20th century (such as inkjet printing and laser printing) paved



Gutenberg's movable-type printing press



the way for many other printing technologies we use today. For example, this list includes innovations that are transforming the potential of printing nowadays: 3D printers, the use of metallic colors.

The process of obtaining real metal effects in printing has always been a very difficult task. These tasks were solved dissimilar in different years. Initially the answer was in embossment with metallized foil, then in the use of materials subjected to metallization in various ways: from lamination with polymeric materials with sprayed metals to direct reprography.

Metal FX technology is the printing of multiple metallic colors using only one extra ink. MetalFX is based on the transparency of the CMYK colors, which can produce many metallic colors when mixed with the metallic basic color (silver). Metal FX metal pigment color is purer than the silver. This allows printers to create bright colors [5].

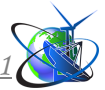
The downside is that this technology was used only for offset printing. It could not be adapted to flexography, inkjet, digital, screen or gravure printing. That is why Color-Logic company improved this innovation. To reproduce metallic color, the company offers to apply a special silver ink in the first section of the printing machine. Then a triad colors go on top. Process paints act as a protection for the silver layer below, while acquiring metallic luster [2].



It is important that you can combine as many metallic shades as you want in one layout. That reduces the cost of production and speeds up the printing process.

Imagine a three-dimensional object. For example, a cup, a bottle of water of a ball. Now imagine that pictures can be printed on the surface of these items directly, even if the surface is uneven and with bends. Direct printing at objects takes personalization and customization to a whole new high-quality level. This technology changes the rules of the game for retailers, print service providers and event organizers.

American engineers who met at a printing theme conference said: «Our print heads and our inkjet technologies can do much more than just print on paper. Why



did we stop on printing only on paper?» [6].

American engineer and inventor Wayne Buchar gathered a group of scientists to conduct the experiment. After many attempts, they found a way to send drops of ink in the air over long distances. With normal printing, this distance is from 0.5 to 1 mm, sometimes up to 2 mm. But the resulting 5-7 millimeters are almost a full-color digital airbrush.

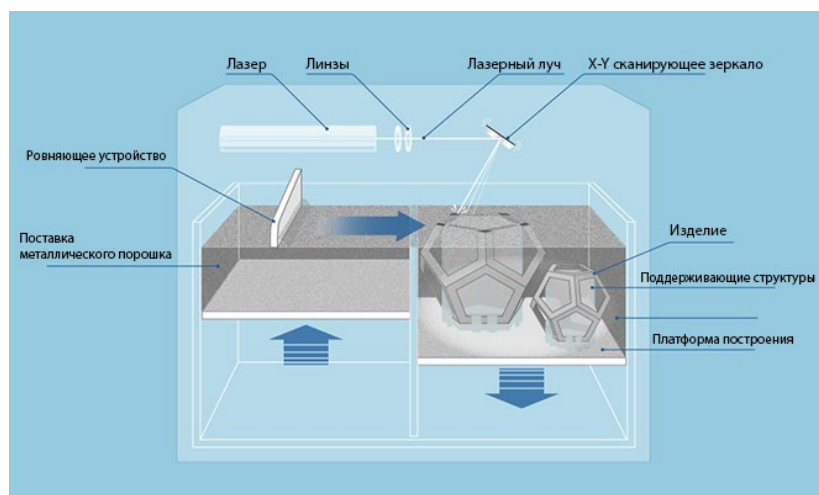


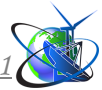
This achievement was the base for the world's first “Xerox” inkjet printer on objects. This is a completely new technology, so scientists are still trying to understand all the potential scoops of use, because no one has done it before. Technology can evolve in completely different directions.

A certain innovation can be a good addition to the objects created on a 3D printer. That innovation is printing the image in less than a minute on ready-made three-dimensional objects. Then you need to remove the product from the mold (usually it is covered with wax), put in acid. After that we get the finished item. This makes a lot more sense than completely printing items on a 3D printer, because it speeds up the process and requires less material and time.

3D printing is very popular nowadays. Three-dimensional products are used for architecture, mechanical engineering, design, education. This is a production that will always be in demand. But even this method of printing requires innovation to make items more durable and high-quality, while costing the same or even less.

One of such innovative technologies is selective laser melting - the manufacture of complex in shape and structure products from metal powders using the mathematical CAD-models, i.e. 3D metal printing [1]. The printing process begins with the division of a product's digital 3D model into layers with a thickness of 20 to 100 microns in order to create a two-dimensional image of each layer. The construction of the figure takes place in the SLM chamber of the machine, filled with inert gas of argon or nitrogen (depending on the type of powder from which the construction will be made), with laminar flow. After that, the product is removed from the chamber together with the plate, and then separated from it mechanically.





Almost complete absence of oxygen avoids oxidation of consumables, which allows printing on materials such as titanium. Materials that can be used at the moment are copper, tungsten, platinum, gold, aluminum, cobalt-chrome, tool and stainless steel.

The advantage of this technology is the ability to make products with complex geometry; weight reduction of products; material savings.

Selective laser melting of metal is used for any task and industry where the speed of reproduction of strong, almost monolithic objects with complex geometry is important.



Flexography is the most advanced way of printing packaging due to the wide range of materials, printing speed, versatility and flexibility of technology. Frequently used paints are alcohol and water-soluble. But there arises a concept of ecological packaging, so developing paints capable of biodegradation is in progress right now.

Biodegradable printer inks usually contain non-edible vegetable oil, unlike petroleum-based oils, in conventional inks. That means that this ink contains less potentially harmful chemicals (such as volatile organic compounds). Chemicals that have been shown to have long-term effects on human health [3].

One of the problems of such paints is to ensure the stability of their qualities over time with high drying on the print. Biodegradable paints are still improving so that they become light-resistant, stable, environmentally friendly and affordable.

Thus, it is experimentally proven that film-forming substances based on corn starch paste give the best results. Water is used as a solvent. Triethanolamine is added for stability and stability of the paint [4].

The capability of biodegradation also has a significant impact on the environment-friendly printer inks. Biodegradable inks cause less contamination and can be quickly removed from the paper during the recycling process, because they are easier to decompose than conventional ones.

Therefore:

→ 3D-printing, regardless of the field of use (for industrial, commercial or domestic purposes), gives many benefits that are not available to traditional methods of production. This process allows us to reach a new level of individualization and complexity. In addition, this method of printing does not require tools and is very economical, i.e. less cost of resources and capital. There are also innovations such as printing on ready-made three-dimensional objects or printing models with metal powder instead of plastic.



→ Publishing products are improved by the invention of new paints with metal coating, which opens fresh usage in the decoration; as well as biodegradable inks that have less impact on the environment. In the future, all inks will be plant-based, which means careful use of natural resources.

→ Innovations in the field of printing are aimed at achieving maximum productivity of machines, the use of all possible resources for not only a good result, but also safety for health and the environment.

→ In general, printing needs automation in order to create more quality products and at the same time spend less time, material.

The printing industry is a constantly evolving sector in which new innovations will appear in the future. As market regulation becomes more stringent and consumers become more aware of the need to reduce their impact on the environment, environmental-central developments are likely to be one of the pillars of this drive for innovation. However, there are many problems and even more opportunities to solve them. We can expect that enterprising and creative people will meet those problems face to face now and in the not so distant future.



## REFERENCES:

1. [Electronic resource] 3DDevice company: Selective Laser Melting, 2021 URL: <https://3ddevice.com.ua/selektivnoe-lazernoe-plavlenie-metalla/>
2. [Electronic resource] Color-Logic Inc: How does Color-Logic compare to MetalFX?, 2015 URL: <https://www.color-logic.com/support/faqs/files/category-metalfx.html>
3. [Electronic resource] Global banking&finance review: 5 Important Printing Innovations in Recent Years, 2021 URL: <https://www.globalbankingandfinance.com>
4. Khokhlova R. A. Ecologically clean flexographic printing inks for packing / R.A. Khokhlova // Publishing and polygraphy: theses of the reports 81-th scientific and technical conference of professors and lecturers, scientists and postgraduate students (with international participation), Minsk, 1-12 February 2017 / Belarusian State Technological University. - Minsk: BDTU, 2017. - P. 32.
5. [Electronic resource] Lyhnia Digital: Metal FX technology, 2019 URL: <https://www.lyhnia.com/en/metal-fx-technology/>
6. [Electronic resource] Xerox Corporation: Printing on 3D objects, 2021 URL: <https://www.xerox.ua/about-xerox/innovation-in-xerox/pechat-na-3d-obektakh/>



**Анотація:** У цій статті розглянуто, чому поліграфічна промисловість є прекрасним прикладом впровадження нових речей та інновацій. Нами проаналізовано: щоб залишатися конкурентоспроможними, і малі підприємства, і великі корпорації заохочуються вивчати нові інструменти та постійно оновлювати знання, щоб досягти кращої позиції на ринку, особливо в індустрії машин та програмного забезпечення.

**Ключові слова:** технологія, друк, 3D-друк, колір.

Стаття відправлена: 25.04.2022 р.

© Безроднова А.С., Медін І.О., Глушко П.О., Матвеева Т.В.





UDC 629.238

## CHAOS AND ORDER IN POLYGRAPHY ХАОС І ПОРЯДОК В ПОЛІГРАФІЇ

Hres O.M./Гресь О.М.

*Student / студент*

Matvieieva T.V./ Матвєєва Т.В.

*PhD / к.пед.н, доцент кафедри**ORCID: 0000-0003-4079-4901*

Kravchun K.S./Кравчун К.С.

*Student / студент*

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
Kyiv, Av.Peremogy, 37, 03056*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

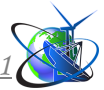
**Abstract:** *The article considers an appointment of fractals in printing industry, various graphic editors and programs for their creation, the relevance of physical and mathematical directions in the polygraphy. It was found that fractal structures are formed in the manufacturing of a product for its further protection in art and for researches. Illustrated examples for the material are given. We have analysed using of fractals in the printing industry. It is concluded that the physical and mathematical directions in polygraphy are relevant, it is advisable to use knowledge of chaos theory to achieve a goal in the printing industry and so on.*

**Key words:** *polygraphy, fractals, additive technologies, chaos theory.*

Modern polygraphy has made significant progress. Journalism, chemistry, molecular physics, optics, colour and many other sciences strongly, which are strongly connected with the printing industry, are developing it in new directions at an impressive pace. The physics and mathematics field became interesting and unusual for the polygraphy. More precisely, chaos theory – a branch of mathematics and physics studying systems which dynamics, under certain conditions, largely depend on the initial conditions, that makes long-term prediction impossible. Nowadays, chaos theory is a very active realm of research it involves many different disciplines [8]. So, the logical question is: how is chaos theory, such a complex branch of mathematics related to the polygraphy and, moreover, brilliantly opening up new possibilities for this ancient industry? The answer lies in fractals, in their close interaction with chaos – unique objects created by the unpredictable movements of chaotic world. Until recently, such objects of unreal structure and beauty were only the subject of study and research by the exact sciences. Currently, factions have practical applications, particularly in the printing industry. Pablo Picasso, a famous artist, said: "Everything that can be imagined is real".

There is no doubt, modern polygraphy opportunities are used by almost all spheres of life: industrial, scientific, cultural, etc. And the variety of such opportunities impresses with the richness of the range: business cards, unique calendars, notebooks, posters, photo wallpapers depicting family photos, of course, books, souvenirs, textiles, utensils and much more.

In turn, the computerization of technological processes of reproduction printed products with the development of 3D printing and their implementation contribute to



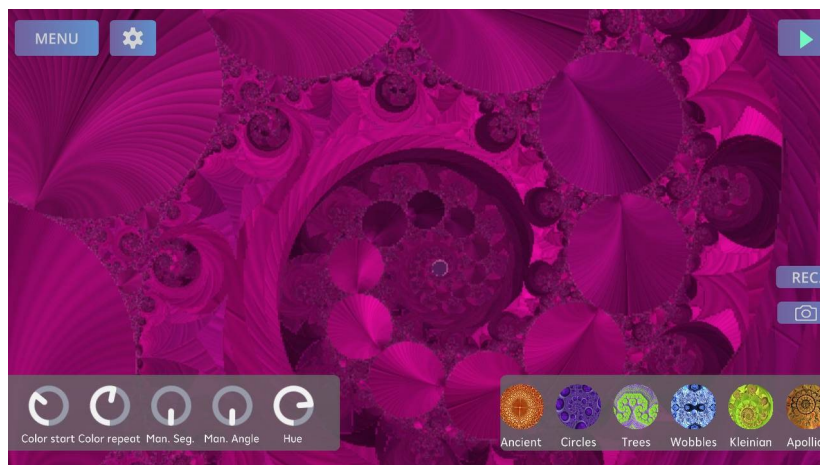
search for new ideas.

Given this, fractal models have found their place in the printing industry. The term fractal (from the Latin word fractus - fraction), was proposed by B. Mandelbrot in 1975 for definition of irregular mathematical self-similar structures. Today's popular fraction of geometry got its name only in 1977 thanks to his book *The Fractal Geometry of Nature*. The work of French mathematics used the results of many students who worked in this branch (especially Poincaré, Cantor, Hausdorff). Mandelbrot's main definition of fractal is: "A fractal is the structure that consists of parts that is in some sense similar to the whole body".

There are special programs and packages of graphic editors which can display geometric fractals. Everyone can work with them, if he has a basic knowledge of mathematics. To create fractals, you can use an online fractal generator, such as Fractalposter, which allows you to create your own fractal or view ready-made ones. Of course, much more creativity is provided by software fractal generators, part of them allows you to visualize high-resolution images, which are suitable for printing. Fractal figures created by mathematical calculations - based on parametric equations. There are the following commercial products that really reproduce quality fractals:

- 1) Ultra Fractal 5.04, developer: Frederik Slijkerman;
- 2) ChaosPro 4.0.228, developer: Martin Pfingstl;
- 3) XenoDream 2.3, developer: XenoDream Software, LLC;
- 4) Fractracer 1.1, developer: Fractracer Lab.

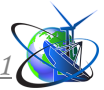
By the way, interesting fractals can be created even on the phone, for example, one of programs that reproduce fractals is shown in Figure 1.



**Figure 1. Application of Magic Fractals 2D: Art Therapy**

Created images are saved as projects in their own format and exported to PNG files with the required permission. There is also generation and storage of three-dimensional mesh objects (OBJ), designed for reproduction by using 3D printing and saving fractal animations in AVI format [2].

Today, fractal images are used in the production of jewellery and decor, airbrushing, interior design, securities protection, even to study and improve the printing process and the quality of printing products. With help of fractals, it is possible to study the microstructure and physical and mechanical properties of



printing materials. It's amazing how useful math can be for publishing and polygraphy.

Fractal graphics which is printed on clothing gives individuality and creativity to the consumer, able to meet the aesthetic needs of man. In the West, the trend of developing clothing designs with print of fractal geometry is quite fashionable. Success is ensured by absolute uniqueness and bright colours. In general, there are no restrictions on the options where you can print fractal figures: on bags, umbrellas, moreover even on socks! Figure 2 shows examples of products with a fractal pattern. Materials print by such printing methods as stencil, tampon, offset; also there are used sublimation printing technologies on textiles [3].



**Figure 2. The use of fractal figures on different materials**

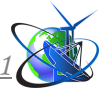
The range of using fractal images is multifarious. Fractal patterns are actively used in designs of labels, kraft papers, packaging.

Taking into account, that consumers value the product primarily by visual sign, good and bright wrapper will be a key to success of the manufacturer. Figure 3 shows products in the packaging of which fractal images were successfully used.



**Figure 3. Fractal patterns on business cards and packaging**

As it was mentioned earlier, fractal patterns can also be used to protect important papers, documents, etc. The point is, that the protective properties of fractal

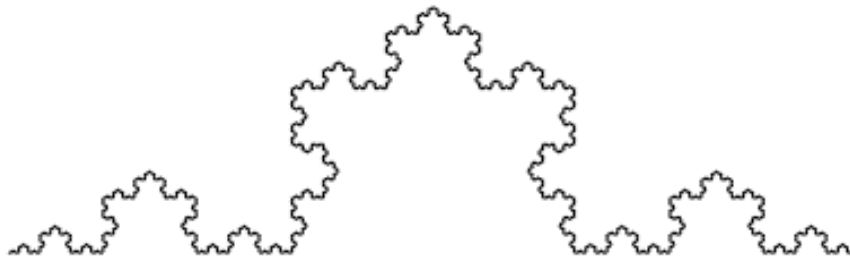


images are based on using of printing with wide range of requirements, which makes it impossible to falsify digitally. In addition, the coefficients used in the generation of the pattern cannot be calculated from the final image, which also complicates the reproduction of the fractal pattern [1].

Fractals are an effective research tool. Their self-similarity allows in many cases to obtain relatively easily *scaling*<sup>1</sup> laws of behavior of quantities which characterize the processes on fractals.

During the study of microstructure of the paper surface, which is essentially a measurement of its smoothness, it was shown that for different types of paper and cardboard fractal dimension (calculated by the formula  $D_{\text{np}} = \frac{\ln(N)}{\ln \frac{L}{r_0}}$ , where L is the

length of the paper prophylactogram, N - the number of segments which are required to cover the prophylactogram, taking into account the scale of the prophylactogram and the scale  $r_0$ , fractal dimension D, reflects the nature of the microsurface of the studied material and allows to consider the influence of the spatial development of the microprofile, which more accurately characterizes the surface-spatial structure of the paper and its printing properties) is different. By the values of fractal dimensions of the paper surface's microstructure in the longitudinal and transverse directions it is able to predict the behaviour of paper during the printing process and assess impact of the structure on its own features, which is important for paper. By the way, during manufacture of monometallic printing plates, which are the forms for flat offset printing, when cutting the surface of the profile significantly resembles a regular fractal - Koch's curve, shown in Figure 4 [4].

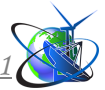


**Figure 4. Koch curve**

As we can see, using the fractal theory and fractal dimension index for describing surface properties of the number of printing materials is appropriate in terms of further usage of the theory of printing processes.

With the advent of 3D printing, there are many opportunities to create truly fantastic things. Prospects of this method of printing are obvious: 3D printing is already used in architecture, medicine, mechanical engineering, film industry, education, etc. In particular, with the help of 3D printing it is even possible to print fractals of almost any shape and size. Jeremy Brune is a man who succeeded in this case.

<sup>1</sup> The mathematical form of scaling in this case is power function  $x^a$ , where the number a – characterizes complex iterative procedure for appearance of a fractal structure - ascent from small to large and from simple to complex.



“Fractals have fascinated me since the 80s when I was a teenager,” Brunet tells 3DPrint.com. “My father offered me a book entitled ‘The beauty of fractals’ which I still cherish to this day. I used to program fractals on my early computers and draw them by hand. About 5 years ago, a new generation of 3D fractals emerged from a collaborative work on fractalforums.com and I became hooked again. Brune once stumbled upon Shapeways, and it immediately became clear that he had to “give a physical being to these amazing mathematical creatures”.

Shapeways is a Dutch-founded, New York-based 3D printing marketplace and service, start-up company. Users design and upload 3D printable files, and Shapeways prints these objects. Users can print objects from more than 55 materials and types of processing. As of 2019, Shapeways printed and sold more than ten million user-created objects.

“I like to push the boundaries of fractal art and 3D printing was perfect technology for that,” Brunet explains. “To me, they are a way to visualise the beauty of nature, the elegant laws of the Universe and the emergence of complexity through simple rules and fundamental ingredients. Today, creating 3D printed fractals still represents many challenges, as these objects bear infinite details by definition, but my passion is to keep on to continue creating 3D fractals”.

Currently Brunet has about a hundred different fractals available for various prices on his Shapeways shop. Some are priced less than \$10, while others – about hundreds. They range from large plastic 3D prints to smaller pieces of jewelry made of precious metals such as gold, silver, and bronze. Examples of Jeremy Brunet's work are shown in figure 5.



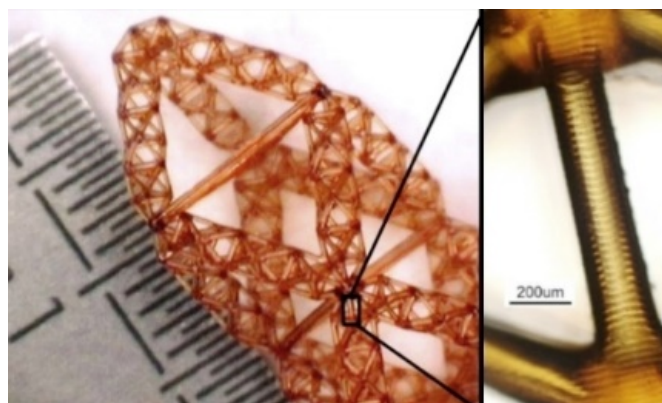
**Figure 5. Fractals printed on a 3D printer (image copyright: Coandco)**

They really impress with their elegance and unusualness. These are like celestial bodies that came from outer space. This is what the symbiosis of fractals with 3D printing is capable of. “I like to try all the possible colours and materials at my disposal,” he tells us.

In addition, such fractal structures are incredibly strong. Today for construction of high-rise buildings it is used a steel framework, which provides stability of all works. Experts from the University of Nottingham in the UK have developed a revolutionary technology using 3D printing, which reduces metal consumption to a



minimum, increase the strength of the ultralight frame by 10,000 times [5]. Figure 6 shows a structure based on fractals.



**Figure 6. Picture of a detail created on the basis of fractals**

**Conclusions:** fractals are widely used in the printing industry: they are printed on 3D printers, fractals are used to study the properties of printing materials, and the feature of fractals allows to protect products from copies, etc. As you can see, the implementation of physical and mathematical areas in printing is really actual: new ideas, creative results and uniqueness - all this is the result of combining science with a branch of industry which constantly amazes the world. Perhaps, in the future, scientists will achieve even more success in researches and discovery in the field of printing, continuing to use knowledges of higher mathematics and, of course, chaos theory. Then there will be complete chaos and order in printing. Because, as Friedrich Nietzsche, the German philosopher of 1844-1900, said, "He who does not carry chaos in himself will never produce stars".

### References:

1. Bizyuk A.V., Shamo I.I. Section 4. Information systems and technologies in printing and multimedia publications. Use of fractal graphics in a secure printing label. Kharkiv National University of Radio Electronics.
2. [Electronic resource] Bulchenko A.M Elements of the theory of fractals in extracurricular activities (primary school). Qualification work for the degree of "Master". Sumy - 2020. Link to online resource: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html? Pdfurl = https% 3A% 2F% 2Frepository.sspu.edu.ua.
3. [Electronic resource] Gavrilov V.P. Synthesis of digital images // Information systems in management, education, industry: a monograph / ed. VS Ponomarenko. - H., 2014. - Chap. 29. - P. 429-441.http://www.repository.hneu.edu.ua/jspui/handle/123456789/6784.
4. Deineko Zh.V. Section 6. Information technologies in polygraphy. Application of fractal theory to study the technological properties of printing materials. Kharkiv National University of Radio Electronics.
5. [Electronic resource] IndigoMan.https://www.facepla.net/the-news/tech-news-mnu/3093-fractal.html.
6. [Electronic resource] https://3dprint.com/50133/3d-printed-fractals-2/. March



11, 2015by adlughmin.

7. [Electronic resource] <http://dwl.kiev.ua/art/frak/index1.html> "Fractals and clusters in the information space" Dmitry LANDE.

8. [Electronic resource] <https://uk.wikipedia.org/wiki>.

**Анотація:** В статті розглянуто місце фракталів в поліграфії, різноманітні графічні редактори та програми для їх створення, актуальність фізико-математичного напрямку в поліграфічній сфері. Виявлено, що фрактальні структури застосовуються у виробництві тієї чи іншої продукції, для її подальшого захисту, у мистецтві і для досліджень. Наведено ілюстровані приклади до матеріалу. Нами проаналізовано використання фракталів в поліграфічній сфері. Зроблено висновок, що фізико-математичний напрям в поліграфії є актуальним, доцільно використовувати знання з теорії хаосу для досягнення тієї чи іншої мети в поліграфічній промисловості тощо.

**Ключові слова:** поліграфія, фрактали, адитивні технології, фрактали, теорія хаосу.

Стаття відправлена: 19.04.2022 р.

© Гресь О.М., Матвєєва Т.В., Кравчун К.С.



УДК 517.5

**STRENGTHENING THE COMPARISON THEOREM AND  
KOLMOGOROV INEQUALITY IN THE ASYMMETRIC CASE  
ПІДСИЛЕННЯ ТЕОРЕМИ ПОРІВНЯННЯ ТА НЕРІВНОСТІ КОЛМОГОРОВА В  
НЕСИМЕТРИЧНОМУ ВИПАДКУ**

Kofanov V.O. / Кофанов В.О.

*d.p.m., prof. / д.ф.-м.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-0392-2257

Sydorovych K.D. / Сидорович К.Д.

*student / студентка**Oles Honchar Dnipro National University,**Dnipro, Gagarin Avenue, 72, 49000**Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара,**Дніпро, проспект Гагаріна, 72, 49000*

*Анотація.* В роботі отримано підсилений варіант теореми порівняння Колмогорова в несиметричному випадку. Як наслідок одержано підсилення нерівності Колмогорова в несиметричному випадку:

$$\|x_{\pm}^{(k)}\|_{\infty} \leq \frac{\|\varphi_{r-k}(\cdot; \alpha, \beta)_{\pm}\|_{\infty}}{E_0(\varphi_r(\cdot, \alpha, \beta))_{\infty}^{1-k/r}} \|x\|_{\infty}^{1-k/r} \|\alpha^{-1}x_{+}^{(r)} + \beta^{-1}x_{-}^{(r)}\|_{\infty}^{k/r}$$

для функцій  $x \in L_{\infty}^r(\mathbf{R})$ , де

$$\|x\|_{\infty} := \frac{1}{2} \sup_{\alpha, \beta} \{|x(\beta) - x(\alpha)| : x'(t) \neq 0 \forall t \in (\alpha, \beta)\},$$

$k, r \in \mathbf{N}$ ,  $k < r$ ,  $\alpha, \beta > 0$ ,  $\varphi_r(\cdot; \alpha, \beta)_r$  – несиметричний ідеальний сплайн Ейлера порядку  $r$ , а  $E_0(x)_{\infty}$  – найкраще рівномірне наближення функції  $x$  константами.

**Ключові слова:** теорема порівняння Колмогорова, нерівність Колмогорова.

**Вступ.**

Символом  $G$  будемо позначати дійсну вісь  $\mathbf{R}$  або одиничне коло  $T$ , що реалізоване у вигляді проміжку  $[-\pi, \pi]$  з ототожненими кінцями. Будемо розглядати простори  $L_p(G)$ ,  $1 \leq p \leq \infty$ , всіх вимірних функцій  $x: G \rightarrow \mathbf{R}$  таких, що  $\|x\|_{L_p(G)} < \infty$ , де

$$\|x\|_{L_p(G)} := \left\{ \int_G |x(t)|^p dt \right\}^{1/p}, \quad 1 \leq p < \infty,$$

та

$$\|x\|_{L_{\infty}(G)} := \sup_{t \in G} |x(t)|.$$

Для стислості замість  $\|x\|_{L_{\infty}(G)}$  будемо писати  $\|x\|_{\infty}$ .





Для  $\alpha, \beta > 0$  та  $L_\infty(G)$  покладемо

$$\|x\|_{\infty, \alpha, \beta} := \|\alpha x_+ + \beta x_-\|_\infty,$$

де  $x_\pm(t) := \max\{x_\pm(t), 0\}$ .

Через  $L_\infty^r(G)$  будемо позначати простір функцій  $x \in L_\infty(G)$ , які мають локально абсолютно неперервні похідні до  $(r - 1)$ -го порядку, причому  $x^{(r)} \in L_\infty(G)$ .

Символом  $\varphi_r(\cdot; \alpha, \beta)$  позначимо  $r$ -й  $2\pi$ -періодичний інтеграл з нульовим середнім значенням на періоді від  $2\pi$ -періодичної функції  $\varphi_0(\cdot; \alpha, \beta)$ , визначеної на відрізку  $[0, 2\pi]$  наступним чином:

$$\varphi_0(\cdot; \alpha, \beta) := \begin{cases} \alpha, & \text{якщо } t \in [0, 2\pi\beta/(\alpha + \beta)], \\ -\beta, & \text{якщо } t \in [2\pi\beta/(\alpha + \beta), 2\pi]. \end{cases}$$

Зауважимо, що  $\varphi_r(\cdot; 1, 1)$  є ідеальним сплайном Ейлера  $\varphi_r$  порядку  $r$ .

Hörmander [1] довів наступну теорему.

**Теорема А.** Нехай  $k, r \in \mathbf{N}, k < r, G = \mathbf{R}$  або  $G = \mathbf{T}$ . Тоді для будь-якої функції  $x \in L_\infty^r(G)$  і для будь-яких  $\alpha, \beta > 0$  має місце точна нерівність

$$\|x_\pm^{(k)}\|_\infty \leq \frac{\|\varphi_{r-k}(\cdot; \alpha, \beta)_\pm\|_\infty}{E_0(\varphi_r(\cdot, \alpha, \beta))_\infty^{1-k/r}} E_0(x)_\infty^{1-k/r} \|x^{(r)}\|_{\infty; \alpha^{-1}, \beta^{-1}}^{k/r} \quad (1),$$

де  $E_0(x)_\infty$  – найкраще рівномірне наближення функції  $x$  константами.

Рівність в (1) досягається для функцій  $x(t) = a\varphi_{\lambda, r}(t; \alpha, \beta) + b, a, b \in \mathbf{R}, \lambda > 0$  при  $G = \mathbf{R}$  і  $\lambda \in \mathbf{N}$  при  $G = \mathbf{T}$ .

Доведення теореми А в [1] засноване на теоремі порівняння. Наведемо формулювання даної теореми для подальшого використання.

Для  $r \in \mathbf{N}, \alpha, \beta > 0, G = \mathbf{R}$  або  $G = \mathbf{T}$  покладемо

$$W_{\infty, \alpha, \beta}^r(G) := \left\{ x \in L_\infty^r(G) : \|x^{(r)}\|_{\infty, \alpha^{-1}, \beta^{-1}} \leq 1 \right\},$$

і нехай  $\varphi_{\lambda, r}(t; \alpha, \beta) := \lambda^{-1}\varphi_r(\lambda t; \alpha, \beta)$  для  $\lambda > 0$ .

**Теорема В.** Нехай  $r \in \mathbf{N}, \alpha, \beta > 0, x \in W_{\infty, \alpha, \beta}^r(\mathbf{R})$  і число  $\lambda$  обране так, що

$$\|x_\pm\|_\infty \leq \|\varphi_{\lambda, r}(\cdot; \alpha, \beta)_\pm\|_\infty. \quad (2)$$

Якщо точки  $\xi$  і  $\eta$  задовольняють умови

$$x(\xi) = \varphi_{\lambda, r}(\eta; \alpha, \beta),$$



причому

$$x'(\xi) \cdot \varphi'_{\lambda,r}(\eta; \alpha, \beta) \geq 0,$$

то

$$|x'(\xi)| \leq |\varphi'_{\lambda,r}(\eta; \alpha, \beta)|.$$

В симетричному випадку  $\alpha = \beta$  теореми А та В належить Колмогорову [2].

В даній роботі отримано (теорема 1) підсилення теореми В, в якому умова (2)  $(\|x_{\pm}\|_{\infty} \leq \|\varphi_{\lambda,r}(\cdot; \alpha, \beta)_{\pm}\|_{\infty})$  теореми В замінена більш слабкою умовою

$$\|x\|_{\infty} \leq E_0(\varphi_{\lambda,r}(t; \alpha, \beta))_{\infty}, \text{ де}$$

$$\|x\|_{\infty} := \frac{1}{2} \sup_{\alpha, \beta} \{|x(\beta) - x(\alpha)| : x'(t) \neq 0 \forall t \in (\alpha, \beta)\}. \quad (3)$$

Разом з тим висновок теореми 1 є більш сильним, ніж висновок теореми В.

Зрозуміло, що  $\|x\|_{\infty} \leq E_0(x)_{\infty}$ , причому неважко навести приклади нескінченно диференційованих функцій, для яких відношення

$$\frac{\|x\|_{\infty}}{E_0(x)_{\infty}}$$

скільки завгодно мале.

За допомогою теореми 1 отримано (теорема 2) підсилення нерівності (1), в якому величина  $E_0(x)_{\infty}$  замінена більш делікатною характеристикою  $\|x\|_{\infty}$ . В якості додатку отримано (теорема 3) підсилення нерівностей Лігуна [3] і Бабенко [4].

В симетричному випадку  $\alpha = \beta$  результати даної роботи (теореми 1-3) доведені в [5].

### Основний текст.

Зазначимо, що якщо функція  $x \in L^r_{\infty}(\mathbf{R})$  монотонна на одному з нескінченних проміжків  $(-\infty, b]$  чи  $[a, +\infty)$ , то існують скінченні границі

$\lim_{t \rightarrow -\infty} x(t)$  та  $\lim_{t \rightarrow +\infty} x(t)$  відповідно. Для таких функцій покладемо

$$x(-\infty) := \lim_{t \rightarrow -\infty} x(t), \quad x(+\infty) := \lim_{t \rightarrow +\infty} x(t).$$

Символи  $a, b$  у теоремі 1 можуть набувати будь-яких значень з розширеної числової прямої. При цьому будемо вважати, що  $+\infty + t = +\infty$ ,  $-\infty + t = -\infty$ ,  $\forall t \in \mathbf{R}$ .

Наступна теорема є підсиленням теореми порівняння Колмогорова в несиметричному випадку.



**Теорема 1.** Нехай  $r \in \mathbf{N}$ ,  $\alpha, \beta > 0$ ,  $x \in W_{\infty, \alpha, \beta}^r(\mathbf{R})$  і число  $\lambda$  обране з умови

$$|||x|||_{\infty} = E_0(\varphi_{\lambda, r}(\cdot; \alpha, \beta))_{\infty}, \tag{4}$$

де величина  $|||x|||_{\infty}$  визначена рівністю (3). Нехай далі  $[a, b]$  – проміжок зростання (спадання) функції  $x$  такої, що  $x'(t) \neq 0$ ,  $t \in (a, b)$ , причому  $x'(a) = 0$ , якщо  $a \neq -\infty$ ,  $x'(b) = 0$ , якщо  $b \neq +\infty$ , а  $[\xi, \eta]$  – проміжок зростання (спадання) функції  $\varphi_{\lambda, r}(\cdot; \alpha, \beta)$ , причому  $\varphi_{\lambda, r-1}(\xi; \alpha, \beta) = \varphi_{\lambda, r-1}(\eta; \alpha, \beta) = 0$ , і нехай  $\gamma$  – точка локального екстремуму функції  $\varphi_{\lambda, r-1}(\cdot; \alpha, \beta)$  на інтервалі  $(\xi, \eta)$ .

Тоді якщо для точки  $t \in [a, b]$  точка  $y \in [\xi, \eta]$  обрана так, що

$$|x(b) - x(t)| = |\varphi_{\lambda, r}(\eta; \alpha, \beta) - \varphi_{\lambda, r}(y; \alpha, \beta)|, \tag{5}$$

або так, що

$$|x(t) - x(a)| = |\varphi_{\lambda, r}(y; \alpha, \beta) - \varphi_{\lambda, r}(\xi; \alpha, \beta)|, \tag{6}$$

то

$$|x'(t)| \leq |\varphi_{\lambda, r-1}(y; \alpha, \beta)|. \tag{7}$$

Наступна теорема є підсиленням варіантом нерівності (1).

**Теорема 2.** Нехай  $k, r \in \mathbf{N}$ ,  $k < r$ ,  $G = \mathbf{R}$  або  $G = \mathbf{T}$ . Тоді для будь-якої функції  $x \in L_{\infty}^r(G)$  та для будь-яких  $\alpha, \beta > 0$  має місце точна нерівність

$$\|x_{\pm}^{(k)}\|_{\infty} \leq \frac{\|\varphi_{r-k}(\cdot; \alpha, \beta)_{\pm}\|_{\infty}}{E_0(\varphi_r(\cdot, \alpha, \beta))_{\infty}^{1-k/r}} |||x|||_{\infty}^{1-k/r} \|x^{(r)}\|_{\infty; \alpha^{-1}, \beta^{-1}}^{k/r} \tag{8},$$

де величина  $|||x|||_{\infty}$  визначена співвідношенням (3).

Рівність в (8) досягається для функцій  $x(t) = a\varphi_{\lambda, r}(t; \alpha, \beta) + b$ ,  $a, b \in \mathbf{R}$ ,  $\lambda > 0$  при  $G = \mathbf{R}$  та  $\lambda \in \mathbf{N}$  при  $G = \mathbf{T}$ .

Наведено підсилення нерівностей Лігуна та Бабенко.

В роботі [4] Бабенко довів наступну нерівність.

**Теорема С.** Нехай  $q \geq 1$ ,  $k, r \in \mathbf{N}$ ,  $k < r$ . Тоді для будь-якої функції  $x \in L_{\infty}^r(\mathbf{T})$  та для будь-яких  $\alpha, \beta > 0$  має місце точна нерівність

$$\|x_{\pm}^{(k)}\|_{L_q(\mathbf{T})} \leq \frac{\|\varphi_{r-k}(\cdot; \alpha, \beta)_{\pm}\|_{L_q(\mathbf{T})}}{E_0(\varphi_r(\cdot, \alpha, \beta))_{\infty}^{1-k/r}} E_0(x)_{\infty}^{1-k/r} \|x^{(r)}\|_{\infty; \alpha^{-1}, \beta^{-1}}^{k/r} \tag{9}$$

Рівність в (9) досягається для функцій  $x(t) = a\varphi_{n, r}(t; \alpha, \beta) + b$ ,  $a, b \in \mathbf{R}$ ,



$n \in \mathbf{N}$ .

В симетричному випадку  $\alpha = \beta$  нерівність (9) належить Лігуну [3].

Наступна теорема є підсиленням нерівності (9).

**Теорема 3.** Нехай  $q \geq 1, k, r \in \mathbf{N}, k < r$ . Тоді для будь-якої функції  $x \in L^r_\infty(\mathbf{T})$  та для будь-яких  $\alpha, \beta > 0$  має місце точна нерівність

$$\|x_{\pm}^{(k)}\|_{L_q(\mathbf{T})} \leq \frac{\|\varphi_{r-k}(\cdot; \alpha, \beta)_{\pm}\|_{L_q(\mathbf{T})}}{E_0(\varphi_r(\cdot, \alpha, \beta))_{\infty}^{1-k/r}} \|x\|_{\infty}^{1-k/r} \|x^{(r)}\|_{\infty; \alpha^{-1}, \beta^{-1}}^{k/r} \quad (10)$$

Рівність в (10) досягається для функцій  $x(t) = a\varphi_{n,r}(t; \alpha, \beta) + b, a, b \in \mathbf{R}$ ,

$n \in \mathbf{N}$ .

**Висновки.**

В результаті виконаної роботи одержано підсилений варіант теореми порівняння та нерівності Колмогорова в несиметричному випадку.

Також отримано підсилення нерівностей Лігуна та Бабенко.

Література:

1. Hörmander L., A new proof and generalization of inequality of Bohr. – Math. Scand. – 1954.–2,– p. 33–45.
2. Колмогоров А.А., Избранные труды. Математика, механика. – М.: Наука, 1985, 470 p., – С. 252–263.
3. Ligun A.A. Inequalities for upper bounds of functionals // Analysis Math. – 1976. –2, N1. – С. 11–40.
4. Бабенко В.Ф. Несимметричные экстремальные задачи теории приближения // Докл. АН. СССР. – 1983. – 269, – N3. – С. 521–524.
5. Кофанов В.А. Усиление теоремы сравнения и неравенства Колмогорова и их приложения //Укр. мат. журн. – 2002. – 54, 10. – С. 1348–1355.

**Abstract.** We looked at the possibility of strengthening the comparison theorem and Kolmogorov inequality in the asymmetric case.

We have obtained a strengthening of Kolmogorov comparison theorem. In particular, this allowed us to obtain a strengthening of the Kolmogorov inequality in the asymmetric case:

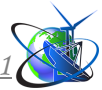
$$\|x_{\pm}^{(k)}\|_{\infty} \leq \frac{\|\varphi_{r-k}(\cdot; \alpha, \beta)_{\pm}\|_{\infty}}{E_0(\varphi_r(\cdot, \alpha, \beta))_{\infty}^{1-k/r}} \|x\|_{\infty}^{1-k/r} \|\alpha^{-1}x_{+}^{(r)} + \beta^{-1}x_{-}^{(r)}\|_{\infty}^{k/r}$$

for function  $x \in L^r_\infty(\mathbf{R})$ , where

$$\|x\|_{\infty} := \frac{1}{2} \sup_{\alpha, \beta} \{|x(\beta) - x(\alpha)| : x'(t) \neq 0 \forall t \in (\alpha, \beta)\},$$

$k, r \in \mathbf{N}, k < r, \alpha, \beta > 0, \varphi_r(\cdot; \alpha, \beta)_r$  is an asymmetric perfect spline of Euler of order  $r$  and  $E_0(x)_{\infty}$  is the best uniform approximation of the function  $x$  by constants.

**Key words:** Kolmogorov comparison theorem, Kolmogorov inequality.



УДК 616.381-006.6-073.754.2

**THE POSSIBILITY OF MSCT, MRI AND METHOD TWO IN THE DETECTION OF MALIGNANT FORMATIONS OF THE ABDOMINAL CAVITY (GASTROINTESTINAL CANCER, PANCREATIC AND COLORECTAL)****МОЖЛИВІСТЬ МСКТ, МРТ І МЕТОДУ ДВІ В ВИЯВЛЕНІ ЗЛОЯКІСНИХ УТВОРЕНЬ ЧЕРЕВНОЇ ПОРОЖНИНИ (РАКУ ШЛУНКУ, ПІДШЛУНКОВОЇ ЗАЛОЗИ ТА КОЛОРЕКТАЛЬНОГО РАКУ)**

Sokolov V.M. / Соколов В.М.

Rozhkovskaya G.M. / Рожковська Г.М.

Tsvygovskiy V.M. / Цвіговський В.М.

Dorofeyeva T.K. / Дорофєєва Т.К.

Doikova K.M. / Дойкова К.М.

Korsun O.A. / Корсун О.А.

Arbatska O.S. / Арбатська О.С.

Dius O.M. / Діус О.М.

Odessa Medical University / Одесский медицинский университет

**Анотація.**

Реферат. Інтенсивність сигналу в серії зображень *dwi*, *pet/kt* в оцінці метаболізму глюкози в пухлинній тканині.

**Об'єкт дослідження.** Було обстежено 186 пацієнтів. Зі встановленою первинною пухлиною шлунку 40 пацієнт, 101 пацієнтів з раком підшлункової залози та 45 пацієнтів різної локалізації і підозрою на метастатичне ураження.

**Мета роботи:** Вивчити діагностичну можливість методу *DWI* і порівняти її з діагностичною характеристикою мультиспіральної комп'ютерної томографії (МСКТ) і 18Ф-ФДГ ПЕТ/КТ в діагностиці злоякісних утворень черевної порожнини.

**Методи дослідження.** Дослідження проводилися на МРТ сканері *Vantage Atlas Toshiba 1.5 Тл*, вимірювалася інтенсивність сигналу в серії *DWI* (*b500*, *b1000*) зображень і побудовою АДС карт, а також розраховувалися значення коефіцієнта дифузії (АДС).

Всім пацієнтам також було проведено МРТ органів черевної порожнини і малого таза стандартним протоколом (*T1, T2-V1, FS* і з в/в контрастуванням).

*DWI* заснований на реєстрації змін у характері броунівського руху молекул води в різних патологічних процесах.

З огляду на те, що всі незмінені лімфовузли мають обмежування дифузії, виконувався кількісний вимір коефіцієнта дифузії на реконструйованих картах АДС.

ПЕТ/КТ проводився з використанням міченої радіоактивним ізотопом фтор 18-дезоксиглюкоза (ФДГ) - метод який дозволяє візуалізувати і кількісно оцінювати метаболізм глюкози в пухлинній тканині.

**Результати та висновки.**

Отримані результати свідчать про те, що *DWI* має більш високу чутливість, але нижчу специфічність, ніж 18Ф-ФДГ ПЕТ/КТ. В цілому, *DWI* ефективніше, ніж 18Ф-ФДГ ПЕТ/КТ д передопераційної постановки діагнозу і являє собою додатковий метод візуалізації, тоді як 18Ф-ФДГ ПЕТ/КТ має обмежену корисність для передопераційної діагностики. У той же час ПЕТ/КТ дає суттєву перевагу в поліпшенні діагностики і терапевтичного спостереження за пацієнтами, здійснює моніторинг реакцій на лікування.

**Ключеві слова:** МРТ, *DWI*, 18Ф-ФДГ ПЕТ/КТ.

**Вступ.**

Незважаючи на те, що за останні 50 років захворюваність і смертність



різко знизилася, рак шлунку (РШ) залишається четвертим за поширеністю на рак і займає друге місце в світі як причина смертельних випадків, пов'язаних з раком із поганим прогнозом.

Різноманітність терапевтичних варіантів, доступних для РШ, таких як радикальна резекція, ендоскопічна підслизова диссекція і неоад'ювантна хіміотерапія, робить точну передопераційну TNM-стадію необхідною для пацієнтів з раком шлунку.

Оцінка лімфатичних вузлів має вирішальне значення для стратегії лікування і визначення прогнозу у пацієнтів з цією патологією. У випадках без віддалених метастазів, розширена лімфаденектомія, заснована на точній локалізації лімфатичних вузлів, є важливою процедурою у радикальній гастректомії, яка може поліпшити результат для пацієнтів з РШ. За даними Японської асоціації раку шлунку для диференційованого раннього РШ T1a без метастазів в лімфатичні вузли вказується ендоскопічна резекція або часткова резекція плюс лімфаденектомія.

При наявності кореляції розміру пухлини, ступеня проникнення і тромбу судинної пухлини, метастази в лімфатичні вузли розглядаються як ключовий незалежний предиктор рецидиву і є одним з показань до ад'ювантної хіміотерапії у пацієнтів з РШ.

Статистично, 5-річна виживаність (після хірургічного лікування) у пацієнтів з нульовою стадією РШ становить 86,1%, тоді як показники виживаності у пацієнтів з N1, N2 і N3 РШ різко знижуються до 58,1%, 23,3% і 5, 9%, відповідно. Тому, точна передопераційна оцінка лімфатичних вузлів може сприяти вибору кандидатів на неоад'ювантну хіміотерапію, оптимізувати стратегію радикальної хірургії і прогнозувати результат

Виходячи з цього, було вкрай важливо встановити стадію захворювання шляхом виявлення регіонарних і віддалених метастазів для визначення стадії захворювання раку шлунку. Був використаний ряд методів дослідження, крім традиційних методик: DWI і ПЕТ / КТ, крім КТ і МРТ.

Були проаналізовані ознаки (MDCT) перипанкреатичної артеріальної та венозної інвазії при панкреатичній карциномі. Серед 101 пацієнта з карциномою підшлункової залози, вивченою MDCT, 54 кандидати на операцію були попередньо оперативно оцінені на судинну інвазію на підставі ознак MDCT. Великі судини перипанкреатики (включаючи верхню брижову артерію, целіакію, загальну печінкову артерію, верхню брижову вену та портальну вену) були ретельно оглянуті хірургами під час операції. При хірургічних дослідженнях 78 із 224 судин були залучені до пухлини. Інвазивні в перипанкреатичні основні артерії ( $n = 29$ ) та вени ( $n = 49$ ) представили різні знаки MDCT: 43% інвазивних вен (18/42, за винятком 7 оклюдованих вен) були оточені пухлиною менше 50% кола судини порівняно з 9 (28/29) інвазивних артерій, які були оточені пухлиною більш ніж на 50% від кола судини або були вбудовані в пухлину ( $p < 0,001$ ). 67% (24/39) з венозних вен мали судинний стеноз або облітерацію порівняно з 40% (14/27) інвазивних артерій ( $p < 0,05$ ). Нерівномірність стінки вен, 84% (41/42, за винятком 9 оклюдованих вен); частіше, ніж у стінки артерій, 55% (16/29) ( $p < 0,05$ ). На закінчення MDCT ознаки



перипанкреатичної артеріальної та венозної інвазії мають різні характеристики, які слід враховувати при доопераційній оцінці.

### Результати дослідження та їх узагальнення

Відомо, що DWI сигнал складається з руху молекул води в позаклітинному, клітинних і внутрішньосудинному просторах. Ступінь дифузійних обмежень в біологічних тканинах корелює з цілісністю клітинних мембран і клітинного складу тканин. Дифузія не залежить від часу релаксації і є незалежним фактором, що впливає на контраст зображення.

Для оцінки сигналу від молекул води в різних середовищах з метою визначення характеристик тканини користуються сенсibiliзуючі дифузійні градієнти.

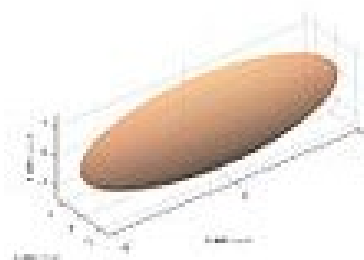
Час, за який протони повертаються до стану рівноваги після впливу на них електромагнітних імпульсів, називається часом релаксації. Він різний у здорових і патологічних тканин і залежить від оточуючих молекул і атомів. На основі цієї різниці будуються МР-зображення. Розрізняють два основних виду часу релаксації - T1 і T2. T1 - це час, за який спіни 63% протонів повертаються до рівноважного стану. T2 - це час, за який спіни протонів зсуваються по фазі (розфазуються) під дією сусідніх протонів.

Щоб отримати сигнали при дифузії води, необхідне використання потужних поверхневих катушок з фазованими ґратами і швидких методів візуалізації - ехопланарної і паралельної.

Для отримання DWI найчастіше використовується імпульсна послідовність (SE EPI) з наявністю додаткової пари дифузійних градієнтів однакової амплітуди і тривалості. Кількісні вимірювання можуть бути зроблені з DWI за коефіцієнтами дифузії (КД) і дробової анізотропії (ДА).



*Ехопланарная візуалізація  
(Hopkins, S, Yang, G.Y.)*



*Паралельна візуалізація  
(Hopkins, S, Yang, G.Y.)*

КД в різних тканинах:

Зразкові значення ( $\times 10^{-3} \text{ s} / \text{mm}^2$ )

Доброякісні пухлини  $> 1.5$ ;

Солідні форми раку (первинні і метастатичні, в тому числі лімфовузли): 0 - 1.1

Лімфоми і гіперцеллюлярні пухлини: 0.6 - 0.8

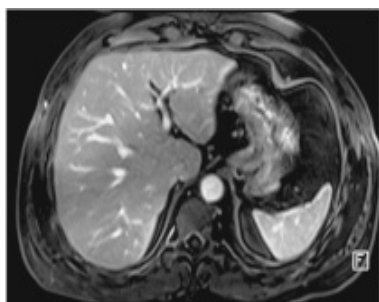
При вивченні дифузійно-зважених зображень нами використовувався МРТ томограф Toshiba Vantage Atlas 1.5т. Апарат має високе однорідне магнітне поле, розвинену систему обробки зображення, 12 ядерний процесор, обсяг оперативної пам'яті 40 Гб, обсяг жорсткого диска 1.9 ТБ. Ефективна градієнтна система - швидкість зміни напруги поля: 130 або 200 мТ / м / мс.



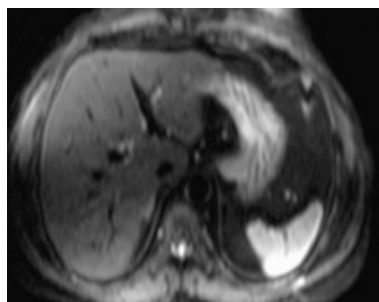
Обстежувалися пацієнти з різною патологією черевної порожнини: рак шлунка, рак прямої кишки і ін. Раніше при раку шлунку дослідження починалося з використання комп'ютерної томографії. З 2006 по 2012 рр нами використовувалися 4-х зрізовий комп'ютерні томографи квітня, 2012 - 2015 - 16-і зрізовий, в останні роки - 64-х зрізовий.

Проростання раку в стінку шлунку, яке візуалізувалося при КТ, було класифіковано наступним чином: при ураженнях T1 і T2 інвазія обмежена стінкою шлунку, зовнішня межа гладенька. В осередках T3 серозний контур стає розмитим, і ділянки зі збільшеним загасанням можна бачити в перигастральному жирі. При ураженнях T4 поширення пухлин часто відбувається через зв'язкові і перитоніальні простори в сусідні органи. Пухлина поперечно-ободової товстої кишки може проникати через шлункову зв'язку в підшлункову залозу і в печінку через шлунково-печінкову зв'язку. Метод ПЕТ / КТ був використаний із застосуванням 2-дезоксі- [18Ф] -фтор-d-глюкози при вищеперерахованій патології.

На Рис. 1.1 - Рис. 1.3 представлений рак малої кривизни шлунку з метастазом у здовж малої кривизни. Метастаз видно більш чітко при DWI, ніж при використанні МРТ.



**Рис.1.1** КТ ( $b=50$ )



**Рис.1.2.** МРТ ( $b=400$ )

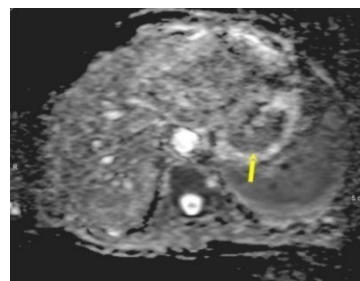


**Рис.1.3** DWI( $b=800$ )

Чутливість до води визначається градієнт дифузії  $b$ -фактора ( $s / mm^2$ ). Чим більше значення  $b$  тим більш чутливі дифузійно-зважені зображення (як правило, в послідовності використовується дифузійно-зважене зображення з фактором градієнта  $b = 50, 400, 800 (s / mm^2)$  і при значенні  $0s/mm^2$  Рис.2.1- Рис2.2.



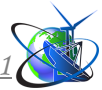
**Рис.2.1** КТ пухлини у верхній третині шлунку



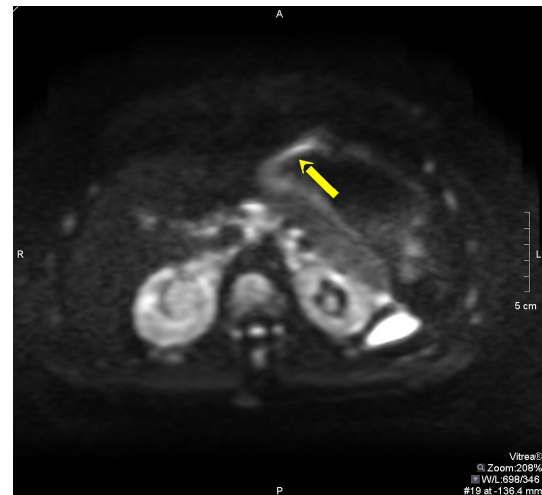
**Рис.2.2** DWI пухлини шлунку при значенні  $b = 0 s / mm^2$ .

Рис.3.1- 3.4 DWI злоякісної пухлини у верхній третині шлунку при значеннях  $b = 0, 500, 800 (s / mm^2)$ . DWI більш чітко відображує множинні метастази в черевній порожнині (DWI  $b = 400 s / mm^2$ ).





**Рис.3.1** КТ пухлини вихідного відділу шлунку.



**Рис.3.2** DWI пухлини вихідного відділу шлунку при значенні  $b = 400 \text{ s} / \text{mm}^2$

Таким чином, на підставі власного досвіду і переглянутого матеріалу нами не було виявлено будь-яких відмінностей між DWI, КТ та МРТ зображень щодо їх здатності виявлення стадій раку шлунку і пухлин інших органів. Проте, DWI може виявляти перитонеальне поширення процесу, більш чітко виявляти метастази в печінці і лімфатичних вузлах, здатне виявити рецидив захворювання раніше, ніж звичайні методи візуалізації, а також більш ефективно контролювати реакцію у хворих з метастатичним процесом. DWI має потенціал, щоб бути клінічно ефективним для оцінки передопераційної ТМN стадії раку шлунку. Ми вважаємо, що він може бути доданий до звичайних КТ і магнітно-резонансним томографічних (МРТ) дослідженнями.

З іншого боку, довжина контакту пухлини з судинною стінкою (у разі контакту більш ніж на 5 мм) є чутливим діагностичним критерієм (78% для портальної вени та 81% для верхньої мезентеріальної вени). Оцінка ступеня циркулярного контакту з судиною (більше  $180^\circ$ ) також має високу кореляцію з резектабельністю (34, 36, 37, 74). D.S. Lu та співавтори [81] відзначили високу специфічність (84%) та чутливість (98%) даного критерію; точність прогнозованої резектабельності становила 95%, нерезектабельності - 93%. S.S. Phoa та співавтори [99] визначили прогностичну цінність комбінації факторів циркулярного контакту та ступеня кривизни деформації судини. При циркулярному контакті  $>90^\circ$  і рівня деформації судин D чи E чутливість і специфічність оцінки залучення судини склали відповідно 60 і 90% [99, 78]. Множинні деформації контуру судини свідчать про високий ризик інвазії, чутливість та специфічність даного фактора становлять відповідно 45 та 99% для артерій та 63 та 100% – для вен [78]. У той же час слід пам'ятати про ефект пухлинного здавлення (mass effect) стінки венозної судини, що імітує пухлинну інвазію, а також про можливість повної інвазії в артеріальні стовбури без видимої КТ деформації судинного просвіту. Характерним КТ-ознакою ураження верхньої брижової артерії є ефект «висить краплі», чутливість і специфічність якого становить відповідно 91 і 98% [78].

Грунтуючись на даних різних дослідників, Н. Лі і співавтори [78]



виділяють наступні КТ-критерії залучення магістральних артерій: занурення артеріального стовбура в пухлину, комбінацію залучення пухлиною більше 1/2 кола судини з нерегулярністю контуру стінки або зі стенозом артерії (чутливість - специфічність - 99%). Критерії поширення пухлини на вени портальної системи: оклюзія вени, залучення в пухлину більше 1/2 кола вени, нерегулярність контуру стінки, стеноз судини, а також наявність ефекту «висить краплі» при оцінці верхньої брижової вени (чутливість - 92%, специфічність - 100%).



**Рис.4 А.** Судини черевної порожнини



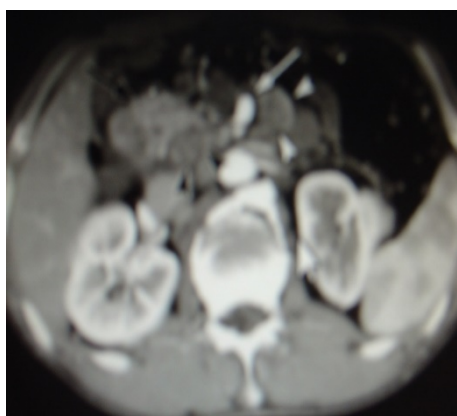
**Рис.4 В.** Оклюзія середньої третини верхньої брижесечної артерії

Були проаналізовані ознаки множинного детектора СТ (MDCT) перипанкреатичної артеріальної та венозної інвазії при панкреатичній карциномі. Серед 101 пацієнта з карциномою підшлункової залози, вивченою MDCT, 54 кандидати на операцію були попередньо оперативно оцінені на судинну інвазію на підставі ознак MDCT. Великі судини перипанкреатики (включаючи верхню брижову артерію, целиацію, загальну печінкову артерію, верхню брижову вену та портальну вену) були ретельно оглянуті хірургами під час операції. При хірургічних дослідженнях 78 із 224 судин були заражені пухлиною. Впали в перипанкреатичні основні артерії ( $n = 29$ ) і жили ( $n = 49$ ) представили різні знаки MDCT: 43% інвазивних вен (18/42, за винятком 7 оклюдованих вен) були оточені пухлиною менше 50% кола судини порівняно з 97 (28/29) інвазійних артерій, які були оточені пухлиною більш ніж на 50% від кола судини або були вбудовані в пухлину ( $p < 0,001$ ). 69% (34/49) з венозних вен мали судинний стеноз або облітерацію порівняно з 41% (12/29) інвазійних артерій ( $p < 0,05$ ). Нерівномірність стінки вен, 74% (31/42, за винятком 7 оклюдованих вен); частіше, ніж у стінки артерії, 45% (13/29) ( $p < 0,05$ ). На закінчення MDCT ознаки перипанкреатичної артеріальної та венозної інвазії мають різні характеристики, які слід враховувати при доопераційній оцінці.

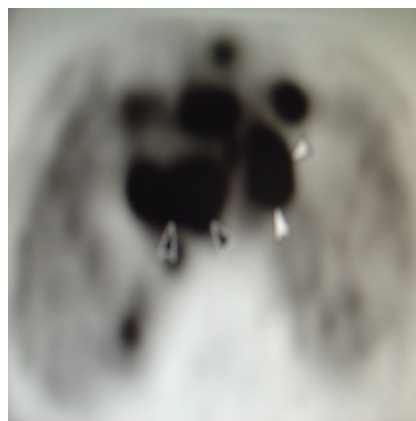
Позитронно-емісійна томографія для передопераційної постановки діагнозу є додатковим методом візуалізації, тоді як 18Ф-ФДГ ПЕТ / КТ з 2-дезоксі- [18Ф] -фтор-д-глюкозою (ФДГ) визнана більш корисним діагностичним методом в клінічній онкології. ФДГ ПЕТ дозволяє сканувати більший обсяг, ніж при використанні КТ. Незважаючи на те, що ФДГ ПЕТ не є



відповідною діагностичною процедурою першої лінії при виявленні раку шлунку і не допомагає в постановці діагнозу пухлини, вона може зіграти значну роль у виявленні віддалених метастазів в печінці, легенях, надниркових залозах, яєчниках і скелеті. ФДГ ПЕТ також може бути корисний при спостереженні за пацієнтами, що проходять хіміотерапію, оскільки цей метод дозволяє ідентифікувати ранню відповідь на лікування. Необхідні подальші дослідження для визначення ефективності ФДГ ПЕТ у виявленні локальних метастазів у вузлах і в перитонеальному просторі. Проте, комбіноване використання КТ і ПЕТ може бути корисним в передопераційній постановці діагнозу - рак шлунку і в терапевтичному моніторингу уражених пацієнтів.



**Рис.5А.** Пухлина підшлункової залози.



**Рис.5.В.** 18Ф-ФДГ ПЕТ Множини метастази.

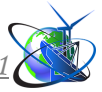
При дійсній ПЕТ діагностиці злоякісні пухлини характеризуються підвищеним метаболізмом глюкози. ПЕТ з використанням глюкози, міченої радіоактивним ізотопом фтором (ФДГ-6-фосфат) дозволяє візуалізувати і кількісно оцінювати метаболізм глюкози в пухлинній тканині. ФДГ фосфорилюється за участю ферменту гексокінази, перетворюється в ФДГ-6-фосфат і накопичується в злоякісних клітинах тканинах.

Нижче наведено ряд досліджень, які оцінюють роль ПЕТ / КТВ діагностиці раку шлунку, констатуючи його метастазування в регіонарні і віддалені лімфовузли, сальник, очеревину і віддалені органи.

КТ показує рак малої кривизни шлунку з виразкою. На Рис. 6.1 представлений рак I-ї стадії (проростання слизової з підслизової), Рис. 6.2 - рак II-ї стадії (пухлина проростає м'язову оболонку). Рис. 6.3 - рак III-ї стадії. ПЕТ / КТ інтенсивності поглинання глюкози в пухлині I-ї і II-ї стадії дещо гірше, ніж при КТ з контрастуванням. Дозвіл ПЕТ обмежена за обсягом, усередненням метаболічного сигналу, з усередненим поглинанням глюкози. Однак чіткіше видно метастаз в черевній порожнині.

Рис 6.1-6.3 КТ: рак малої кривизни шлунка з виразкою.

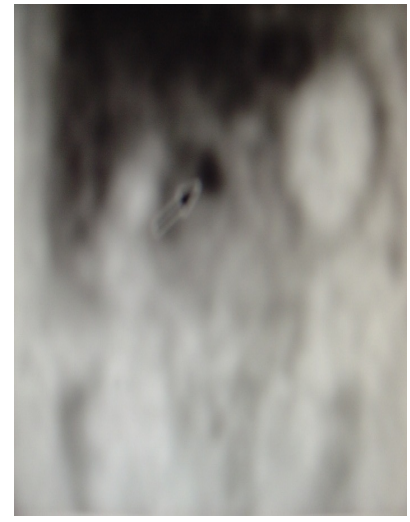
Метастази в лімфатичних вузлах у 63-річного чоловіка з діагнозом рак шлунку. На Рис. 7.1 осьова КТ-діагностика демонструє вузол лімфатичного вузла (біла стрілка), суміжний з лівою шлунковою артерією (біла стрілка); на Рис. 7.2 - вузол лімфатичного вузла (чорний кінець стрілки), суміжний з загальною печінковою артерією (чорна стрілка).



**Рис 6.1** КТ: рак шлунку I-ї стадії

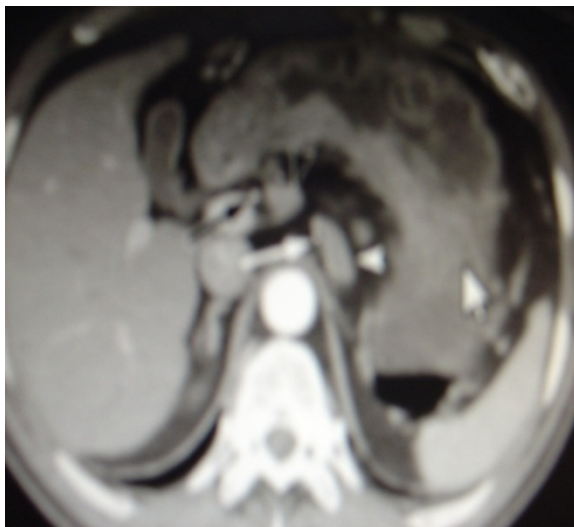


**Рис.6.2** КТ: рак шлунку II-ї стадії

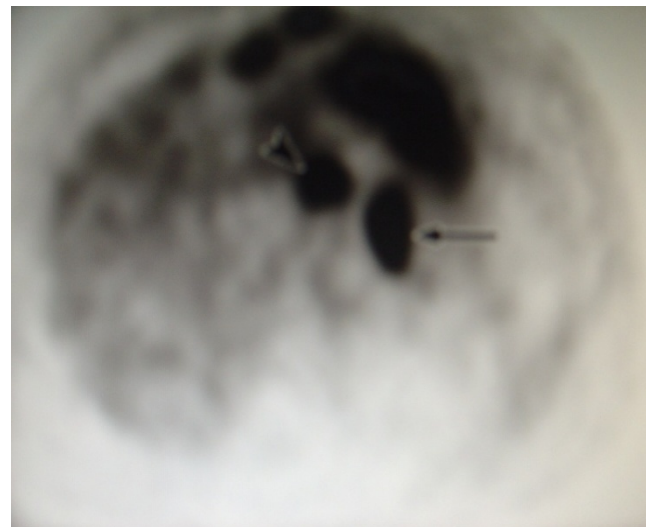


**Рис 6.3** КТ: рак шлунку III-ї стадії

Діагноз метастазу в лімфатичні вузли може бути утруднений, якщо використовуються тільки критерії розміру. Осьове ПЕТ-сканування показує помітне поглинання ФДГ в лімфатичних вузлах черевної порожнини, що вказує на їх метастазування. Наявність метастазів в лімфатичних вузлах було підтверджено при патологоанатомічному аналізі (Seok, Lim et al, 2006).



**Рис.7.1** КТ: метастаз в загальній печінковій артерії



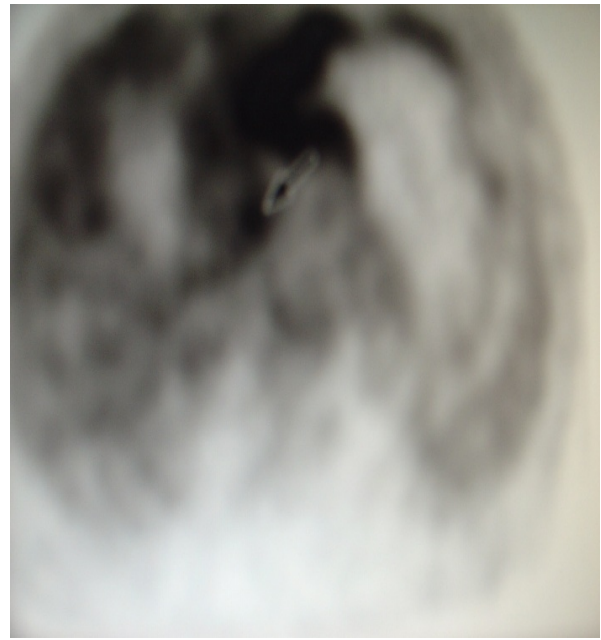
**Рис.7.2** ПЕТ/КТ: група метастазів черевної порожнини

На Рис.8.1-Рис.8.2 представлені метастази в лімфатичних вузлах в черевній порожнині, а на Рис. 9.1-Рис.9.3 двосторонні надключичні лімфатичні вузли (стрілки) діаметром менше 1 см. ПЕТ Сканування показує лімфатичні вузли (стрілки) з підвищеним поглинанням ФДГ. Метастатична участь була підтверджена при біопсії.

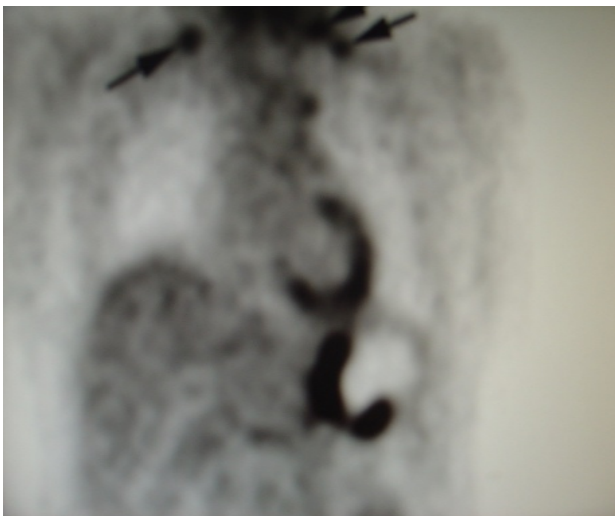
Рис. 9.1-Рис. 9.2 Метаболізм надключичних лімфатичних вузлів у 44-річної жінки з діагнозом рак шлунка.



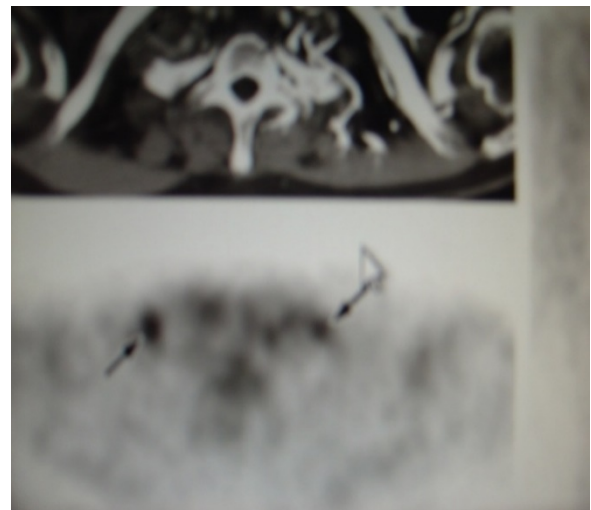
**Рис.8.1** КТ: рак проксимального відділу шлунку. Метастази уздовж малої кривизни шлунку, погано диференціюються.



**Рис. 8.2** ПЕТ / КТ: виражене накопичення глюкози над пухлиною; чітко виявляються метастази уздовж малої кривизни шлунку (стрілка).



**Рис. 9.1** ПЕТ / КТ ураження над- і підключичних лімфатичних вузлів метастатичним процесом



**Рис.9.2** більш виразна локалізація ураження в надключичних лімфатичних вузлах

Було встановлено, що на накопичення радіоактивного глюкози, в першу чергу, впливає гістологічний підтип раку. Накопичення в аденокарцинома кишкового типу - вище, дифузного типу - нижче. У перстнеподібних і муцинозних пухлинах глюкоза накопичується значно менше. Однак, різниця між підгрупами не досягала значного рівня. Щодо слабого накопичення глюкози в фіброзних тканинах, особливо при cancer linitis.

На Рис.10.1-Рис.10.2 показана перстнеподібноклітина карцінома без значного поглинання ФДГ у 30-річної жінки з діагнозом рак шлунку.



**Рис.10.1** КТ: дифузне потовщення майже всієї стінки шлунка (кінець стрілок) через *linitis plastica*.



**Рис.10.2** корональні ПЕТ: відсутність помітного накопичення ФДГ в шлунку (стрілки).

Наявність перитонеального метастазування і асцити є вкрай несприятливим прогностичним фактором. Таке знання дозволяє хірургу вирішити, чи слід проводити операцію або уникнути виконання непотрібної лапаротомії. КТ залишається методом вибору для передопераційного діагнозу перитонеального карциноматозу. Проте, перитонеальний карциноматоз часто виявляється тільки при використанні ПЕТ / КТ.

При раку шлунку чутливість при використанні ПЕТ / КТ - нижче, ніж при використанні КТ. Однак, специфічність і точність у виявленні раку шлунку - вище, ніж при використанні КТ.

**Таблиця 1.1** Показники чутливості, специфічності і точності при КТ і ФДГ-ПЕТ / КТ.

Вид дослідження	Чутливість	Специфічність	Точність	PPV	NPV
КТ	83.3%	75%	57.1%	87.5%	66.6%
ФДГ-ПЕТ	64.3%	100%	80%	100%	89%

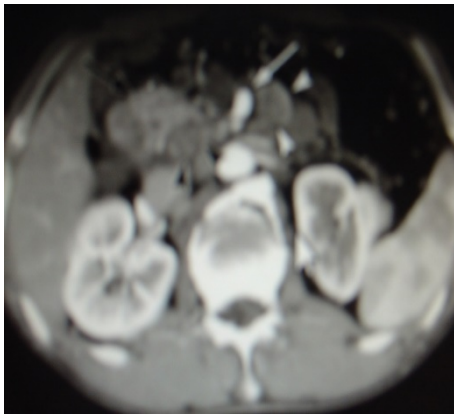
Примітка 1. PPV - позитивна прогностична цінність.

Примітка 2. NPV - негативна прогностична цінність.

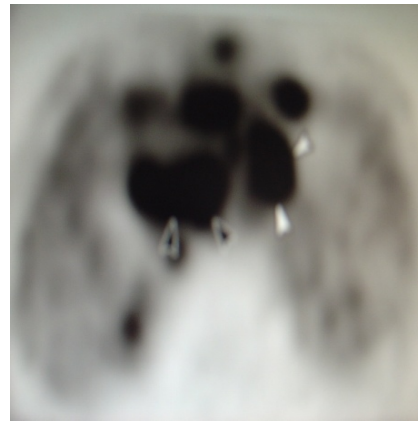
При колоректальних раках 18Ф-ФДГ ПЕТ / КТ відіграє ключову роль у виявленні рецидиву захворювання, оцінці залишкових мас після терапії, локалізації рецидивів у пацієнтів з нез'ясовним підвищенням ракового антигену (СЕА) в сироватці крові.

Пухлина товстого кишечника при використанні КТ, віртуальної колоноскопії і ПЕТ / КТ чутливістю ПЕТ / КТ 96% і КТ 77%; специфічність: 97% проти 89%, відповідно.

Рецидивуючий ректальний рак показаний на рис. 16.1-16.2 (Choi J.Y., Shim K.M., Kim S.E., Jung H.K., Jung S.A., Yoo K. et al, 2014 року). На рис. 16.1 КТ показує велику пресакральну і ретросакральну масу, яка показала негативний результат при біопсії. Результат отримано негативний, так як голка пройшла через некротичні зміни в пухлині. Стрілка показує хід біопсії.



**Рис.11А.** Пухлина підшлункової залози.



**Рис.11В.** 18Ф-ФДГ ПЕТ - Множини метастази.



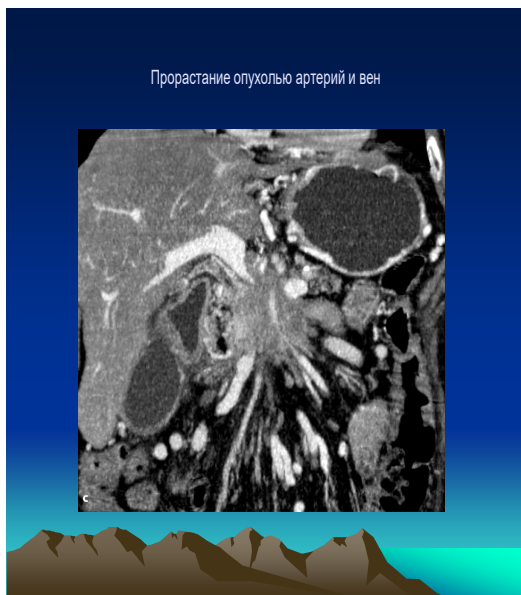
*Рис.12 А*



*Рис. 12 В*

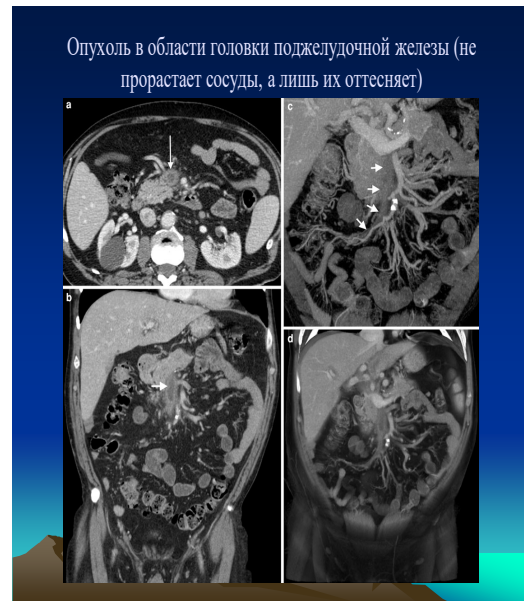
**Рис.12 А.** СКТ черевної порожнини. Корональна/сагітальна проекції.

**Рис. 12 В.** Утворення головки підшлункової залози. Залучення confluens



*Рис.13 А*

**Рис.13 А.** Проростання пухлиною артерій та вен



*Рис.13 В*

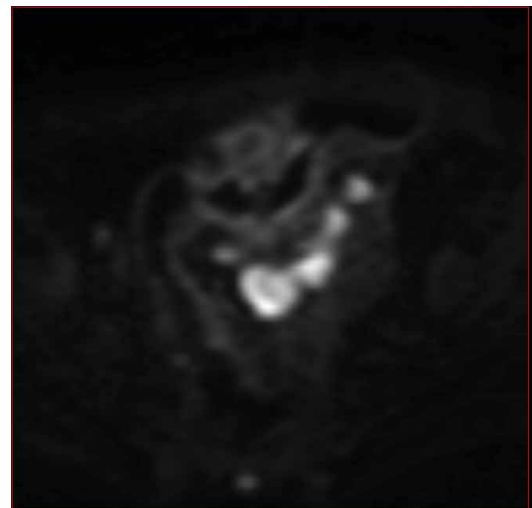
**Рис.13 В.** Пухлина не проростає судини, а лише їх відтісняє.



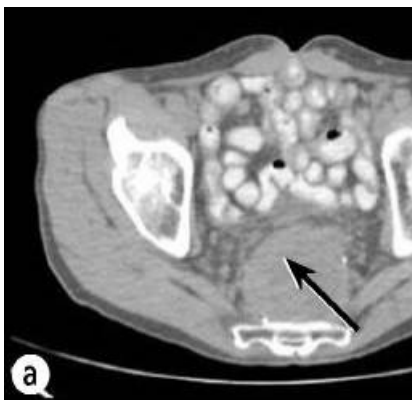
**Рис.14 А., Рис.14 В.** *Метастази в печінку та салъник при пухлині підшлункової залози*



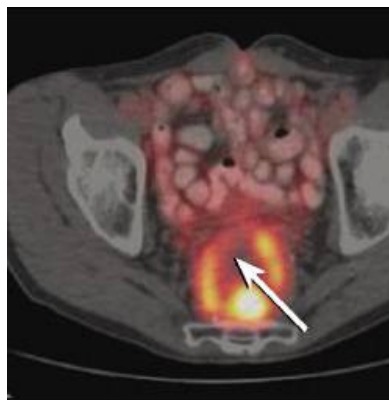
**Рис.15.1** *КТ: рак сигмовидної кишки*



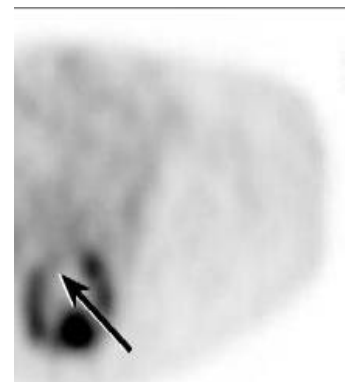
**Рис.15.2** *Псевдо-ПЕТ. Метастази більш інформативні.*



**Рис.16.1** *КТ пухлинної маси.*



**Рис.16.2** *ПЕТ / КТ: рецидив пухлини.*



**Рис.16.3** *Підтверджує рецидив пухлини.*





Рис.16.2 і Рис. 16.3 Переривчаста «оправа» активної пухлини, оточуюча некротичний центр. Повторна біопсія на основі цих зображень показала рецидив пухлини. Після передопераційної терапії знижувалася накопичення радіоактивного глюкози до 35%.

### **Висновки**

1. В роботі зіставлено діагностичне значення дифузійно-зваженої візуалізації (DWI) і <sup>18</sup>F-фтордезоксиглюкозної позитронно-емісійної томографії / комп'ютерної томографії (18Ф-ФДГ ПЕТ / КТ) для N-постановки діагнозу раку шлунку, товстої кишки та інших злоякісних утворень черевної порожнини. Щоб краще зрозуміти діагностичну цінність DWI і ПЕТ / КТ для N-стадій, в якості порівняльного методу застосовувалася мультиспіральна комп'ютерна томографія (МСКТ).

2. Порівняння двох методів показало, що DWI має більш високу чутливість, але не має різниці в специфічності.

3. DWI виявляв більш високу чутливість, але нижчу специфічність, ніж МСКТ, а 18Ф-ФДГ ПЕТ / КТ мала більш низьку чутливість і еквівалентну специфічність.

4. В цілому, DWI краще, ніж 18Ф-ФДГ ПЕТ / КТ для передопераційної N-постановки діагнозу.

5. ПЕТ / КТ дає суттєву перевагу в поліпшенні діагностики і спостереження в процесі терапії за пацієнтами, здійснює моніторинг реакцій на лікування. З урахуванням отриманої останнім часом інформації ці методики можуть бути використані на всіх етапах діагностики злоякісних пухлин черевної порожнини, в тому числі на ранній стадії.

6. Недоліком ПЕТ / КТ є низька специфічність при діагностиці різних типів пухлин, хибнопозитивні результати обумовлені запаленням або грануляційними змінами.

7. УЗД дозволяє вивчити розміри, форми, контур ПЗ;

8. Спіральна КТ з болісним введенням розмаїття більш точно диференціює пухлинні утворення;

9. Чутливість КТ у діагностиці злоякісних пухлин підшлункової залози перевищує 80%. Однак, у 5-15% хворих з підтвердженим діагнозом раку підшлункової залози при КТ виявляють лише дифузне збільшення, більш характерне для панкреатиту. Частота хибнопозитивних результатів становить 5-10%;

11. Однак інші автори вважають, що діагностична ефективність МР-томографії у поєднанні з МР-ангіографією можна порівняти з діагностичною ефективністю двофазної спіральної СТ з динамічною контрастністю при оцінці судинної інвазії пухлин підшлункової залози.

12. РПГГ є методом вибору, що уточнює інфільтрацію пухлинного процесу в 12-палої кишці та жовчовивідних шляхах;

13. Найбільш достовірним методом є прицільна біопсія ПЗ під контролем УЗД та КТ.



### Перелік джерел посилання

1. Котляров П.М., Сергеев Н.И. Егорова, Е.В. Магнитно-резонансная томография в диагностике распространенности рака прямой и сигмовидной кишки. *Russ. Electron. J. of Radiology*, Москва. 2016, сс.44-45
2. Ростовцева Т.М., Ананьева Н.И., Кармазановский Г.Г., Васильев С.В., Смирнова Е.В., Ежова Р.В. Предоперационное стадирование рака прямой кишки. Специализированный протокол магнитно-резонансной томографии. *Russian Electronic Journal of Radiology*, Москва. 2016. сс.61-63
3. Соколов В.Н., Ситникова Е.С. ДВИ И ПЕТ/КТ в диагностике онкологической патологии брюшной полости. *Russian Electronic Journal of Radiology*, Москва. 2016. сс.53-54
4. Choi J.Y., Shim K.H., Kim S.E., Jung H.K., Jung S.A., Yoo K. The clinical value of 18F-fluorodeoxyglucose uptake on positron emission tomography / computed tomography for predicting regional lymph node metastasis and non-curative surgery in primary gastric carcinoma. *Korean J. Gastroenterol*, 2014. vol.64, no. 6, pp.340-347.
5. De Potter, T., Flamen, P., Van Cutsem, E. et al. Whole-body PET with FDG for the diagnosis of recurrent gastric cancer. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2001. vol.29, pp.525-529.
6. Hopkins, S, Yang, G.Y. FDG PET imaging in the staging and management of gastric cancer. *J. Gastrointest Oncol*. Mar. 2011. vol.2, no. 1, pp.39-44. doi: 10.3978/j.issn.2078-6891.2010.004.
7. Joon S.L., Mi J.Y., Myeong-Jin K., Woo J.H., Mi-Suk P., Jin-Young Ch., Tae-Sung K., Jong D.L. Sung H.N., Ki W.K. CT and PET in stomach cancer: preoperative staging and monitoring of response to therapy. *Radio Graphics*, 2006. vol.26, pp.143-156.
8. Атлас абдоминальной хирургии. Том 3. Хирургия тонкой и толстой кишки, прямой кишки и анальной области. Эмилио Итала/медицинская литература. 2008, 448с.
9. Contra indicated Optical colonoscopy in Older Patients. *Am. J. Roentgenol*. 2008, vol. 190, iss.1, pp. 145-150.
10. Johnson C.D., Chen M.H., Toledano A.Y. et al. CTC Screening (Virtual Colonoscopy): Is It Virtually Ready to Replace Optical Colonoscopy. *N. Engl. J. Med*. 2008. iss.359, pp. 1207-1217.
11. Соколов В.Н. Использование виртуальной КТ-эндоскопии крупных сосудов, бронхов и толстой кишки с использованием компьютерного томографа «Astension Super 4» и станции «Vitrea-2». *Ж. Клин. информ. телемед.*, 2008, вып. 7, сс. 37-41.
12. Кишкун А.А. Биологический возраст и старение: возможности определения и пути коррекции: руководство. 2008. 976 с.
13. Johnson C.D., Chen M. QH., Toledano A. Y. et al. Accuracy of CT Colonography for Detection of Large Adenomas and Cancers. *N. Engl. J. Med*. 2008, no. 359, pp. 1207-1217.
14. Pickhardt P.J., Hassan C., Laghi A. et al. Clinical Management of Small (6 to 9 mm) Polyps Detected at Screening CT Colonography: A Cost-Effectiveness



Analysis. Am. J. Roentgenol. 2008, vol. 191, iss. 5, pp. 1509-1516.

15. Colorectal Cancer Screening. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. National Comprehensive Cancer Network, Inc., 2009. Ver. 1.2010, 10/23/09.

16. Мак Интайр Р.Б., Стигманн Г.В., Айсман Б. Алгоритмы диагностики и лечения в хирургии: руководство. Перевод с англ. под ред. Федорова В.Д., Кубышкина В.А. 2009, 744 с.

17. Ривкин В.Л. Амбулаторная колопроктология: руководство. 2009, 96 с. (Серия «Библиотека врача-специалиста»).

**Abstract.** *The paper considers the possibility of MSCT, MRI and the DWI method in the detection of malignancies of the abdominal cavity (gastric cancer, pancreatic cancer and colorectal cancer).*

*186 patients were examined. With established primary gastric tumor 40 patients, 101 patients with cancer pancreas and 45 patients of different localization and suspected metastatic lesions.*

*We studied the diagnostic possibility of the DWI method and compared it with the diagnostic characteristics of multislice computed tomography (MSCT) and 18F-FDG PET / CT*

*The studies were performed on a 1.5 T Vantage Atlas Toshiba MRI scanner, measured the signal intensity in a series of DWI (b500, b1000) images and the construction of ADS maps, and calculated the values of the diffusion coefficient (ADF).*

*All patients also underwent MRI of the abdominal cavity and pelvis by standard protocol (T1, T2-B1, FS and IV contrast).*

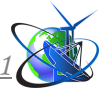
*PET / CT was performed using radiolabeled fluorine 18-deoxyglucose (FDG) - a method that allows you to visualize and quantify glucose metabolism in tumor tissue.*

**Results and conclusions.**

*The results suggest that DWI has a higher sensitivity but lower specificity than 18F-FDG PET / CT. In general, DWI is more efficient, than 18F-FDG PET / CT d preoperative diagnosis and is an additional method of imaging, while 18F-FDG PET / CT has limited utility for preoperative diagnosis. At the same time, PET / CT provides a significant advantage in improving the diagnosis and therapeutic monitoring of patients, monitors responses to treatment*

**Key words:** *Signal strength in a series of DWI, PET/CT, evaluation of metabolism in tumor tissue.*

Статья отправлена :15.04.2022 г.



## CONTENTS

### Mechanical engineering and machinery

- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-010> 3  
INNOVATIVE ENGINEERING SOLUTION IN HOTEL AND RESTAURANT INDUSTRY  
*Savchenko-Pererva M. Yu.*

### Electrical engineering

- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-050> 8  
ELECTROTECHNICAL MOBILE LABORATORY:  
DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL AND LABORATORY  
ELECTROTECHNICAL STAND  
*Isaev I.A.*

### Telecommunication

- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-042> 14  
AUTOMATED UPDATE OF EDUCATIONAL CONTENT OF  
ONTOLOGY-ORIENTED DISTANCE LEARNING SYSTEMS  
*Klokov A.R., Volos D.A., Tytenko S.V.*

### Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering

- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-013> 22  
CALCULATION METHOD OF MILLING PEAT THERMOCHEMICAL  
PROCESSING IN THE FLOW OF GAS HEAT CARRIER  
*Sklyarenko E.V., Vorobiov L.Y.*

### Mining engineering. Metallurgy

- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-001> 32  
TO CALCULATION OF HYDROGEN STRESSES  
IN METAL STRUCTURES  
*Stashchuk M.G., Zhiguts Yu. Yu., Lazar V.F.*
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-040> 37  
CEMENT USING TRANSCARPATHIAN PERLITE  
*Melnichenko M.V., Ivanynuk I.V., Gluschenko D.K., Chernyak L.P.*

**Animal products. Cereals and grain. Milling industry**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-014> 42

TECHNOLOGICAL FEATURES BATATU IN  
SWEET DISHES «SAMBUK»

*Kobeliianska E.B., Kovtun A.V., Sharan L.O., Bortnichuk O.V.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-035> 49

MILK WHEY DIRECTED ENRICHMENT BY MINERALS  
AND PROSPECTS OF IT USING IN FEED TECHNOLOGIES

*Kochubei-Lytvynenko O.V., Dubivko A.S., Bilyk O.A., Pukhliak A.G.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-039> 62

INFLUENCE OF CONDITIONS AND DURATION OF  
STORAGE ON THE QUALITY OF GRAIN OF WINTER  
WHEAT AND PRODUCTS OF ITS PROCESSING

*Gunko T.S.*

**Industrial engineering. Management engineering**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-036> 67

MATHEMATICAL MODELING OF VACCINATION EFFECTS  
TO THE ANTIVIRAL IMMUNE RESPONSE

*Zelensky K.Kh., Kuzmenko D.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-043> 76

APPLICATION OF MODIFICATIONS OF GENETIC  
ALGORITHM FOR SERVICES

*Hrybkov S.V., Yuschuk I.V., Yuschuk P. O.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-049> 83

INNOVATIONS THAT CHANGED MODERN PRINTING INDUSTRY

*Bezrodnova A.S., Medin I.O., Hlushko P.O., Matvieieva T.V.*

**Mechanical drawing. Engineering graphics**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-026> 89

CHAOS AND ORDER IN POLYGRAPHY

*Hres O.M., Matvieieva T.V., Kravchun K.S.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-044> 96

STRENGTHENING THE COMPARISON THEOREM AND  
KOLMOGOROV INEQUALITY IN THE ASYMMETRIC CASE

*Kofanov V.O., Sydorovych K.D.*



**Innovations in medicine, pharmaceuticals, chemistry,  
veterinary medicine**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit20-01-020>

101

THE POSSIBILITY OF MSCT, MRI AND METHOD TWO IN  
THE DETECTION OF MALIGNANT FORMATIONS OF THE  
ABDOMINAL CAVITY (GASTROINTESTINAL CANCER,  
PANCREATIC AND COLORECTAL)

*Sokolov V.M., Rozhkovskaya G.M., Tsvygovskiy V.M., Dorofeyeva T.K.  
Doikova K.M., Korsun O.A., Arbatska O.S., Dius O.M.*



*International periodic scientific journal*

# MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und  
innovative Technologien

Indexed in  
INDEXCOPERNICUS  
high impact factor (ICV: 95.33)

*Issue №20*  
*Part 1*  
*April 2022*

Development of the original layout - Sergeieva&Co  
*Articles published in the author's edition*

Signed: April 30, 2022

*Sergeieva&Co*  
*Lußstr. 13*  
*76227 Karlsruhe*  
e-mail: [editor@moderntechno.de](mailto:editor@moderntechno.de)  
site: [www.moderntechno.de](http://www.moderntechno.de)



With the support of International research  
project SWorld  
[www.sworld.education](http://www.sworld.education)



ISSN 2567-5273



9 772567 527306

