

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

---

доцент Чепіжний А.В.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження систем автоматизації  
зерносушильного обладнання ТОВ «Агротон-С»  
Сумської області»

Виконав

---

(підпис)

Нестеренко Д.І.  
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-1м

(Науковий) керівник:

---

(підпис)

Чепіжний А.В.  
(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

доцент \_\_\_\_\_ Чепіжний А.В.  
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ  
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

*Нестеренко Дмитро Іванович*

(прізвище, ім'я та по батькові)

**1. Тема роботи:** Дослідження систем автоматизації зерносушильного обладнання  
ТОВ «Агротон-С» Сумської області

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» \_\_ 02 \_\_ 2024 р. № 572/ос

**2. Термін подання здобувачем закінченої роботи** «11» \_\_ 11 \_\_ 2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** технічні характеристики різноманітного  
зерносушильного обладнання, нормативні документи для проведення  
досліджень, стандарти.

**4. Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Аналіз діяльності підприємства та огляд способів сушки зерна.

2 Визначення основних складових автоматизації сушарок з формуванням  
математичної моделі для опису процесів автоматизації.

3 Проведення моделювання процесу сушіння зернової маси та результати  
моделювання.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

Додатки.

**5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

**6. Консультанти розділів роботи:**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

**КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

**Здобувач вищої освіти**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**(Нестеренко Д.І.)**  
(прізвище, ініціали)**(Науковий) керівник  
дипломної роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**(Чепіжний А.В.)**  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дослідження систем автоматизації зерносушильного обладнання ТОВ «Агротон-С», Сумської області. Магістерська робота / Нестеренко Дмитро Іванович – Суми: СНАУ, 2024 р. – 56 с.

В роботі проведено аналіз особливостей сушки зернових мас та наведено порівняння способів сушіння. Описано режими сушки різних культур та вихід на необхідні параметри вологості. Обрано культури для проведення досліджень ефективності роботи системи автоматизації зерносушильного обладнання.

Обрано основне обладнання для проведення досліджень роботи системи автоматизації, наведено основні принципи його роботи. Виконано аналіз особливостей з'єднань між системою керування та комп'ютером.

Проведено визначення особливостей роботи автоматизованого сушіння зерна з використанням системи автоматизації в номінальних режимах сушки та з сушкою при нестабільних режимах.

Виконано аналіз заходів з охорони праці та проведено економічну ефективність запропонованих рішень. Наведено висновки по роботі

**Ключові слова:** зерно, зернова маса, вологість, автоматизація, засоби вимірювання, зерносушарка, камера сушки, сушильний агент, температура.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ОГЛЯД СПОСОБІВ СУШКИ ЗЕРНА.....	8
1.1 Аналіз діяльності підприємства ТОВ «Агротон-С» та способів сушіння зерна.....	8
1.2 Особливості процесу сушки зерна.....	8
1.3 Особливості сушки зерна електромагнітним полем НВЧ.....	14
1.4 Аналіз основних методів для знищення патогенів.....	17
Висновки до розділу.....	18
2 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ АВТОМАТИЗАЦІЇ СУШАРОК 3 ФОРМУВАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОПИСУ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	19
2.1 Аналіз сушарок, що використовують обраний метод.....	19
2.2 Аналіз процесу сушіння зерна.....	21
2.3 Аналіз основних режимів сушки зернових мас.....	22
2.4 Аналіз основних систем автоматизації сушарок.....	23
2.5 Математичне моделювання процесу сушки зерна.....	25
Висновки до розділу.....	33
3 ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	34
3.1 Аналіз особливостей автоматизації процесу сушіння зерна.....	34
3.2. Побудова моделі автоматики зерносушарки для проведення моделювання процесів сушки.....	36
3.3 Результати проведеного моделювання процесу сушки зернової маси.....	39
Висновки до розділу.....	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
Висновки до розділу.....	45
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	46
Висновок до розділу.....	52

	5
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	55
ДОДАТОК А.....	58

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Збирання урожаю зернових в сучасних умовах потребує доволі складних рішень з визначення основних статей витрат. Однією з таких витрат є процес сушіння зернової маси до необхідної вологості.

Сушіння зернової маси є доволі складним процесом, що потребує значної уваги, затрат часу та енергоресурсів. Необхідно зазначити, що ефективність сушіння зернової маси оцінюється призначенням зерна.

Оператор, що керує зерносушаркою повинен мати великий досвід в проведенні даного процесу, оскільки від його дій напряду залежить якість продукції. Сушка зерна визначається процесами нагрівання та охолодження зернової маси. При цьому виконується формування певних піків температурних та вологістних. Необхідною умовою є дотримання максимально допустимої температури сушіння та вологості.

Системи автоматизації на сьогодні використовуються фактично двох типів: напівавтоматична та автоматична. При цьому в напівавтоматичній системі необхідно, щоб оператор вивів процес на необхідний режим і далі автоматика виконуватиме свою роботу. Автоматичний режим ґрунтується на визначенні параметрів зернової маси від датчиків з подальшою ефективною системою керування процесом відповідно до закладеної програми.

Виходячи з цього найбільш ефективно слідування за процесом сушіння відбувається за умови повної автоматизації процесу сушіння. Тож дослідження процесів автоматизації здатне підвищити ефективність сушіння зерна, а отже є актуальним при проведенні досліджень.

*Мета та задачі дослідження.* Метою дослідження є визначення особливостей роботи зерносушильного обладнання для покращення якості сушіння зернової маси в умовах ТОВ «Агротон-С», Сумської області.

Для проведення дослідження нами пропонується вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз особливостей сушки зерна різних культур.

2. Визначити особливості будови зерносушарок та забезпечення технологічного процесу сушки зерна.

3. Аналіз особливостей формування автоматизованого керування з дослідженням показників її роботи.

4. Виконати економічне обґрунтування та провести аналіз особливостей організації охорони праці.

**Об'єктом дослідження** в роботі є системи автоматизації процесу сушки зернових мас в умовах ТОВ «Агротон-С».

**Предметом дослідження** в роботі є показники роботи автоматизованої системи керування зерносушильним обладнанням з забезпеченням якісних показників зернових мас.

**Методи дослідження.** В роботі використовувались аналітичні, математичні та графічні методи проведення дослідження систем автоматизації зерносушильного обладнання.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наданні допомоги операторам сушильного обладнання в особливостях налаштування систем автоматизованого керування зерносушарками.

# **1 АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ОГЛЯД СПОСОБІВ СУШКИ ЗЕРНА**

## **1.1 Аналіз діяльності підприємства ТОВ «Агротон-С» та способів сушіння зерна**

Центральний офіс ТОВ «Агротон-С» знаходиться в м. Суми. ТОВ «Агротон-С» – підприємство, що займається вирощуванням зернових культур, окрім рису. Основні земельні площі підприємства знаходяться поблизу місту.

Виробничі приміщення, склади та різноманітне обладнання також розміщується в основному поблизу міста.

Основними культурами, що вирощуються в господарстві є пшениця, кукурудза, овес та інші культури. Оскільки підприємство має свої склади, то необхідною умовою зберігання зернових культур є необхідність використання сушильного обладнання.

Зерно від комбайнів за умови великої вологості та засміченості одразу подається на очистку та сушку. Далі після виконання всіх післязбиральних операцій виконують транспортування зерна на зберігання.

Станом на сьогодні в ТОВ «Агротон-С» використовується як новітнє сушильне обладнання так і вже морально застаріле. Необхідною умовою проведення дослідження систем автоматизації зерносушильного обладнання є потреба в аналізі існуючих способів сушки зерна.

## **1.2 Особливості процесу сушки зерна**

Майже завжди при збиранні врожаю зернових, кліматичні умови змушують виконувати операції з сушіння для забезпечення якісного та тривалого зберігання. Основною метою проведення сушіння зернових культур є зменшення вологості в зерні до рівня, який дозволить забезпечити зберігання та не виникатиме псування при зберіганні.

Необхідно зазначити, що сушіння зерна виконується не лише для зниження вологості зерна, а на ряду з цим відбуваються різноманітні фізичні та біохімічні процеси. При цьому дані процеси впливають безпосередньо на

якість зерна в цілому. Перераховані процеси є доволі складними та потребують чіткого дотримання основних вимог сушіння зерна, з відсутністю тривалого та короткочасного відхилення від заданих параметрів. Від правильності проведення сушки зерна також поліпшуються його продовольчі характеристики. Додатково правильний процес сушки зерна вирівнює рівномірність зернової маси за зрілістю та за зовнішнім виглядом, а також позитивно впливає на якість продукції, яку отримують в результаті переробки зерна. Додатково якісний процес сушки зерна дозволяє знищити шкідників та різноманітну мікрофлору патогенного типу.

Необхідно зазначити, що станом на сьогодні є доволі велика кількість способів сушіння зерна, то ж пропонується далі провести короткий розгляд основних з них.

Класичним способом можна назвати сушіння зернової маси з використанням гарячого повітря та подальшим активним вентиляванням для охолодження. Основою різних способів сушки зерна є певний спосіб передачі теплової енергії. Сучасні установки працюють з використанням агента сушіння, що передає тепло. При цьому сушильний агент отримує тепло від різноманітних калориферів або від суміші топкових газів та повітря. Подібну схему реалізації процесу сушіння зерна називають конвективною.

Сушіння зернової маси відбувається при виконанні продувки гарячого повітря через неї. Рух сушильного агента відбувається по різноманітних повітряних відвідних та підвідних каналах. Рівномірність виконання процесу сушіння відбувається за рахунок великої кількості каналів сушарки. За рахунок цього досягається також і ефективність процесу загалом. Подібний спосіб використовується в основному в сушарках бункерного типу.

Необхідно зазначити, що велика кількість каналів для проходу повітря в бункерній зерносушарці сприяє просушуванню меншого шару зернової маси. При цьому просушування і продувка відбувається з усіх сторін каналу, що впливає на ефективність використання теплоносія. Всі ці перераховані заходи мають значний вплив на витрату енергетичних ресурсів, а отже і на економічну ефективність в цілому.

Серед мінусів даного методу на сьогодні є неефективність використання та значна енергоємність. За умови, коли вологість зернової маси є доволі значною то її не можна просушувати дуже сильно нагрітим тепловим агентом. Виходячи з цього чим більша вологість зернової маси, тим менша потрібна температура теплового агенту, а отже і потреба в часі є значною на виконання повного висушування.

Необхідно також зазначити, що чим далі зернова маса знаходиться від каналу, тим гірше воно просушується. При цьому, зерно яке напяму контактує з каналом може отримати пошкодження через високу температуру. А отже можна зробити висновок, що є доволі значна нерівномірність просушування зернової маси в сушарці, що є доволі негативним процесом при використанні даного методу сушки.

Виходячи з цього, виникає необхідність у ретельному розрахунку розміщення всіх каналів сушарки та забезпечення механізмів, що дозволять виконувати процес перемішування зернової маси. Подібне ускладнення процесів призводить до значного ускладнення процесу сушіння, а отже і до ускладнення різних систем контролю та автоматизації зернової сушарки.

Ще одним негативним процесом подібних сушарок є те, що волога, яка виділяється з нижніх шарів проходить через зернову масу та конденсується в верхніх шарах зернової маси. При цьому в верхніх шарах спостерігається значне збільшення вологи зерна, а отже і висушувати його необхідно значно довше. І що не менш важливе цей процес також порушує рівномірність процесу сушіння.

Значна нерівномірність висушування зернової маси по горизонтальній та по вертикальній площині призводить до значного збільшення затрат на енергію для сушіння. Необхідно також зазначити позитивний ефект від сушіння зернової маси вентиляванням підігрітим повітрям, що полягає в зниженні зараження мікроорганізмами зернової маси. Але одразу є і негативний ефект, що значному збільшенні кількості пошкоджених механічно зерен.

Процес сушіння зернової маси можна проводити також не підігрітим повітрям (повітрям з навколишнього середовища) але при цьому тривалість процесу сушіння становить від 4 до 8 діб та виникає проблема зараження мікроорганізмами.

Більш практичного застосування набули комбіновані методи, які поєднують вентилявання зернової маси почергово гарячи та холодним повітрям. При цьому виникає можливість запобігти розвитку шкідливих мікроорганізмів та зменшити механічне пошкодження зерна. При цьому гарячим повітрям швидко знижують вологість зерна до 20 %, а далі вентиляванням холодним повітрям понижають вологість до 14 %. Але подібний процес сушки зерна потребує покращення системи автоматизації процесу з використанням великої кількості датчиків температури та вологості.

Останніми роками доволі широкого застосування набуло використання озонно-повітряних сумішей чи іонізованого повітря. Дослідженнями доведено, що подібне використання даних типів агентів з використанням активного вентилявання зменшує витрати на сушіння зернової маси та має гарний бактерицидний вплив. При цьому даний процес також має певний ряд недоліків, що полягають в незнанні фізичних факторів, складністю каналів для подачі озону та контролем за концентрацією озону оскільки він є ядом та може негативно вплинути на якість продукції.

Іншим способом сушки зернової маси є використання інфрачервоного випромінювання. Даний тип сушіння порівняно з попереднім має свої переваги, оскільки не потребує використання органічного палива для виконання сушіння. Основною особливістю даного методу є використання інфрачервоних променів, що в спектральному проміжку знаходяться в діапазоні 760нм – 420 мкм. При цьому даний тип променів характеризується високою тепловою здатністю, а отже є значно поширеним для сушки зерна, проведення різноманітної теплової дезінфекції та інших процесів.

Основним принципом роботи інфрачервоного методу є те, що волога нагрівається під дією інфрачервоних променів. Виходячи з того, що енергію підведено безпосередньо до вологи то спостерігається значна ефективність та

економічність даного способу. Наступною перевагою даного процесу є неможливість перевищення температури вологої маси зерна, а отже процес випаровування можливо провести на доволі інтенсивному рівні.

При цьому використання низьких температур не нагріває технологічне обладнання, а отже при цьому відсутня втрата тепла через обладнання та вентиляцію. Необхідно зауважити, що при інфрачервоному сушінні енергія передається без необхідності безпосереднього контакту зернової маси та джерела випромінювання, а повітря при цьому зовсім не створює жодних перешкод.

Як і в кожного процесу, інфрачервоне нагрівання має і свої мінуси. Одним з таких мінусів є те, що при використанні даного способу сушки за температури 40-60°C знищується поверхнева мікрофлора зерна.

Інфрачервоне випромінювання при сушці зерна застосовують лише при певних випадках. Першочергово даний метод застосовують при проведенні передпосівного обробітку зерна для того, щоб понизити твердість насіння. Додатково його застосовують для позитивного впливу на посівні характеристики зерна. При цьому є певні особливості процесу сушіння, де обробка інфрачервоними променями проходить протягом декількох хвилин, а сама сушка зернової маси активним вентиляванням повинна проходити протягом кількох діб.

Існує певна енергетична залежність, при якій інфрачервоне опромінення від 40 до 50 Вт/м<sup>2</sup> активує ферменти насіння за час 15-25 с. При цьому температура зернини збільшується майже до 50 °C. Виходячи з цього, виникає позитивний вплив на якісні показники, урожайність та швидкість проростання насінневого матеріалу.

Додатково інфрачервоне випромінювання здійснює дезінсекційну дію та ефективно знезаражує зернову масу різних культур. При виконанні цього процесу потужність виставляють на рівні 17 кВт/год, що не призводить до погіршення зернової маси.

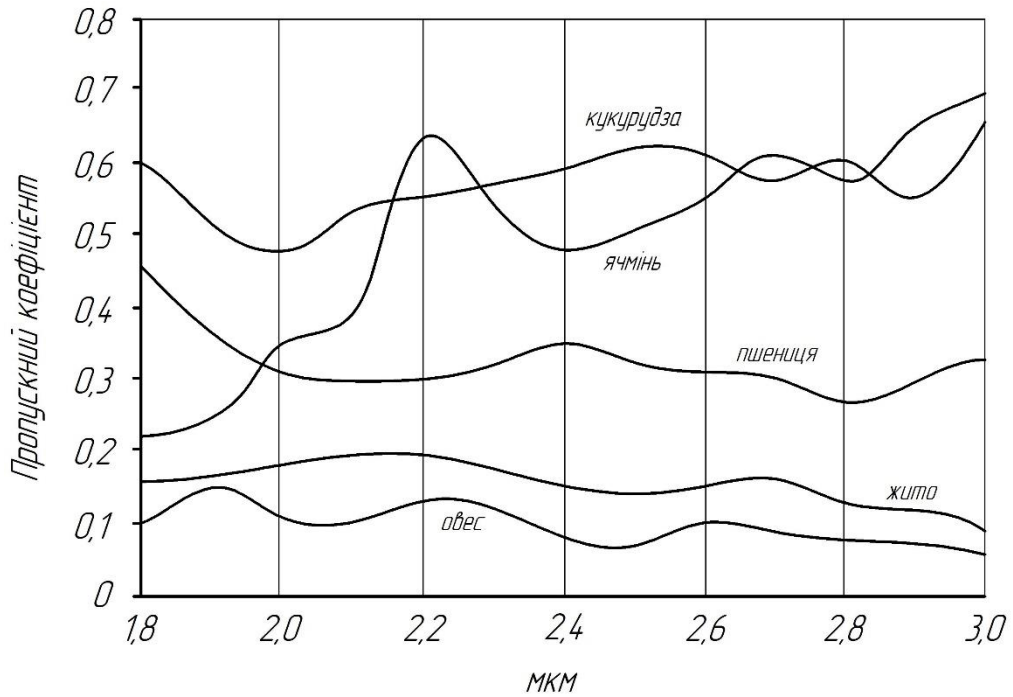


Рисунок 1.1 – Графік залежності пропускового коефіцієнту інфрачервоного випромінювання для зернової маси різних типів культур

З графіка (рис. 1.1) видно, що культури по різному пропускають через себе інфрачервоне випромінювання. При проведенні інфрачервоного опромінення зернина швидко нагрівається. При цьому необхідно зазначити, що зернина нагрівається не повністю, а лише її верхня частина – верхній шар.

Необхідно зазначити, що подібний ефект корисний для технологічних процесів, що пов'язані зі зняттям оболонки чи луски насіння. при цьому висушування верхніх шарів призводить до покращення процесів облушчування насіння.

Використання інфрачервоного процесу сушки зерна вимагає доволі великих затрат, тож його доволі часто використовують в комбінації з іншими методами. Доволі часто його комбінують з використанням активного вентилявання зернових мас.

Додатково недоліком даного методу є те, що волога в середині зернини зберігається доволі довго, а поглинання теплоти зерниною відбувається фактично лише поверхневим шаром зернини.

Але основними перевагами є простота даного способу сушіння з високою продуктивністю обладнання необхідного для його забезпечення. Інфрачервоним випромінюванням можна випаровувати з зернини фактично близько 25 % вологості за нетривалий час в межах 90...100 секунд. Наступним після нагрівання йде випаровування вологи вже з прогрітого зерна за час 5...6 хвилин. При цьому досягти вологості зерна в межах 14% можна досягти за час приблизно до 10 хв. При цьому висушування зерна даним способом дає можливість досягнення гарної якості зернової маси та захистити її від різноманітних шкідників з покращенням передпосівних характеристик насіння.

### **1.3 Особливості сушки зерна електромагнітним полем НВЧ**

При сушіння зерна електромагнітним полем НВЧ вироблені хвилі не зустрічають перешкод утворених сухою частиною зерна, а здійснюється вплив на вологу в зерні. При цьому суть метода полягає в тому волога в зерні поглинає хвилі певної довжини, а суха частина не отримує ніякого впливу від цих хвиль. При цьому суха речовина зовсім не нагрівається від даних хвиль.

Волога, що нагрівається під дією електромагнітного поля НВЧ певну частину тепла передає сухій частині зерна. При цьому кількість теплоти дуже невелика, а отже виготовлення зернових сушарок з використанням даного методу є доволі перспективним напрямком.

В основі даного способу сушки зернових мас покладено вплив електромагнітного поля НВЧ зі значною інтенсивністю на зернову масу. Вплив в основному направлений на молекули води, в тому числі і вологу в будь якому матеріалі. Даний метод отримав назву «молекулярне тертя», в результаті чого волога виділяє теплову енергію з послідуочим нагрівом матеріалу не зовні, а з середини. За умови підвищення температури в зернині виникає певний градієнт вологовмісткості при якому починається випаровування вологи з матеріалу зернини рухаючись до поверхні. Для більш детального процесу випаровування розглянемо схему процесу, що наведена на рисунку 1.2.

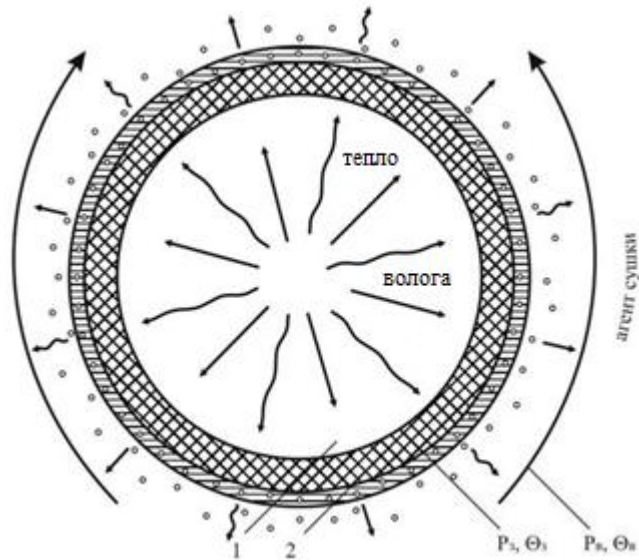


Рисунок 1.2 – Схема видалення вологи з зернини при використанні електромагнітного поля НВЧ

Необхідно зауважити, що сушіння зерна не зупиняється навіть за умови значного зниження вологості зернової маси. При цьому на завершальних стадіях є навіть найефективнішим в порівнянні з іншими описаними методами сушки зернових мас.

Основним принципом сушіння даним методом є принцип мікрохвильового обробітку. НВЧ при цьому генерується відповідними генераторами за допомогою спожитої електричної енергії. Виходячи з цього електрична енергія є найбільшою затратною частиною даного методу.

При цьому процесі електромагнітне поле проникає через весь об'єм зернини, а інтенсифікація процесу опромінення залежить тільки від діелектричних властивостей зернини, а також величини напруженості його електромагнітного поля.

Розрахунки процесу сушіння зерна даним методом проводять з використанням закону Джоуля-Ленца.

$$P = 0,556 \cdot 10^{-6} \cdot \varepsilon' \cdot tg\delta \cdot f \cdot E^2 \quad (1.1)$$

де  $P$  – величина потужності приладу, Вт/м<sup>3</sup>;

$\varepsilon'$  - величина діелектричної проникненості зерна;

$E$  – значення напруженості електричного поля, В/м;

$tg\delta$  – значення тангенса для кута пов'язаного з діелектричними втратами;

$f$  – значення частоти електромагнітного поля, що випромінюється приладом, Гц.

Виходячи з рівняння (1.1) можна зробити висновок, що процес сушіння зернових мас даним методом характеризується фактично двома параметрами. Це такі параметри як величина напруженості та частота електромагнітного поля. При цьому необхідно зазначити, що з іншого боку процес також характеризується певними діелектричними властивостями такими, як  $\varepsilon'$  та  $tg\delta$ .

Комплексне використання всіх параметрів в даному методі дозволяє отримати високу продуктивність нагрівання зернової маси з високим значенням ККД. При цьому процес протікає рівномірно по всьому об'ємі зернової маси в камері сушіння.

Сушка зернової маси відбувається за рахунок явища діелектричної поляризації. Дане явище пов'язано з переміщенням диполів в обмеженому об'ємі. Вплив на зернову масу надвисокої частоти призводить до коливань та зміни положення їх зарядів. При цьому виникають певного роду струми провідності та зміщення.

До переваг даного методу можна віднести те, що даний метод не потребує великих затрат електричної енергії порівняно з іншими видами сушіння. Іншою перевагою є невелика швидкість процесу сушіння порівняно з іншими способами.

При сушінні даним способом, під дією електромагнітної енергії процес починається з середини зернини. При цьому тиск пари в середині зернини направляється до її поверхні, що в свою чергу впливає на процес рівномірності сушіння зерна зі збереженням його зародка.

Переніс вологи з середини зернини до її оболонки здійснюється через капілярну систему зернини, а отже швидкість сушіння різного зерна залежить фактично від розміру цих капілярів. В результаті такого процесу сушіння відбувається значне нагрівання та підвищення тиску водяної пари в зернині. Необхідно зазначити, що в результаті спостерігається суттєве зменшення втрат енергії без погіршення якісних показників зернової маси.

#### **1.4 Аналіз основних методів для знищення патогенів**

Процес сушки зерна фактично не закінчується на процесі сушіння. Необхідно зазначити, що після сушіння зерна необхідною умовою є захист від різного роду патогенів, мікроорганізмів та різноманітних шкідників. При цьому найбільш поширеним хворобами є різноманітні грибки, а також гриби.

Виходячи з цього необхідною умовою зберігання зернової маси є повне позбавлення її від всіх можливих шкідників, мікроорганізмів та патогенів. найбільш поширеним способом є обробка різного роду отрутохімікатами, що значно негативно впливає на ґрунт знищуючи в ньому навіть корисну мікрофлору. Додатково це негативно впливає на загальну екологічну ситуацію оточуючого середовища, де воно знаходиться та буде висіяне.

Найбільш поширеним методом знезараження насіння є замочування зернових мас в аноліті з подальшим його набуханням. Анолітом є певний розчин електроактивованої води, що є позитивнозаряджена.

Замочування проводять декілька разів, з промиванням між замочуванням. В друге замочують в негативно зарядженому розчині води. Тривалість замочування проводиться до 12 годин.

Виходячи з цього необхідно зазначити, що даний процес є доволі енергозатратним та потребує великої кількості часу для проведення знезараження.

Доволі часто застосовують обкурювання отруйними парами для знищення шкідників. При цьому даний спосіб потребує присутності та контролю різноманітних висококваліфікованих працівників, а отже він є дорого вартісним та тривалим по часу.

Також застосовують різного роду аерозольну обробку зернових мас різноманітними інсектицидами. В порівнянні з попереднім способом він є дещо простішим через спрямування парів в зернову масу через газоходи в системі сушарки.

Вищенаведені методи мають доволі негативний вплив на оточуюче середовище та людину через застосування різноманітних отрутохімікатів.

Найбільш перспективним способом для проведення обробки є застосування електромагнітного поля, що на нашу думку є найбільш екологічним та перспективним.

Використання даного методу є дієвим і для інших матеріалів обробки таких, як комахи, гриби чи мікроорганізми. Необхідно зазначити, що існує певна пряма залежність між шкідниками і вологою, а отже вони також піддаються процесам нагрівання. Доведено, що вплив електромагнітного поля з частотою на рівні 24,1 Гц дозволяє фактично повністю проводити знищення різноманітних шкідників та мікроорганізмів.

Виходячи з цього через різний вміст вологи в шкідниках та зерновій масі для знищення комах необхідно 2 секунди, в той час, як для виконання сушіння зерна необхідно приблизно 900 секунд. Виходячи з цього необхідною умовою є повне знищення шкідників та висушування зернової маси до необхідного рівня.

### **Висновки до розділу**

Аналіз технологій сушіння та особливостей вимог до обробки зернових мас показує, що найбільш кращим методом для проведення дослідження по автоматизації процесу сушіння є обробка його електромагнітним полем НВЧ, що дозволяє виконати одночасний обробіток від основних шкідників, мікроорганізмів та патогенів. Необхідною умовою проведення автоматизації є розуміння основною конструкції сушарок, що використовують даний метод та визначення параметрів контролю для виконання якісного процесу моделювання автоматизації процесів.

## **2 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ АВТОМАТИЗАЦІЇ СУШАРОК З ФОРМУВАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОПИСУ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Оскільки основним методом, що є найбільш ефективним при проведенні процесу сушіння зерна є сушка електромагнітним полем НВЧ виникає необхідність аналізу загальної будови сушарок, що використовують даний метод. А також сформуванню основні принципи та режими сушки для аналізу основних засобів автоматизації з подальшим аналізом складових її систем.

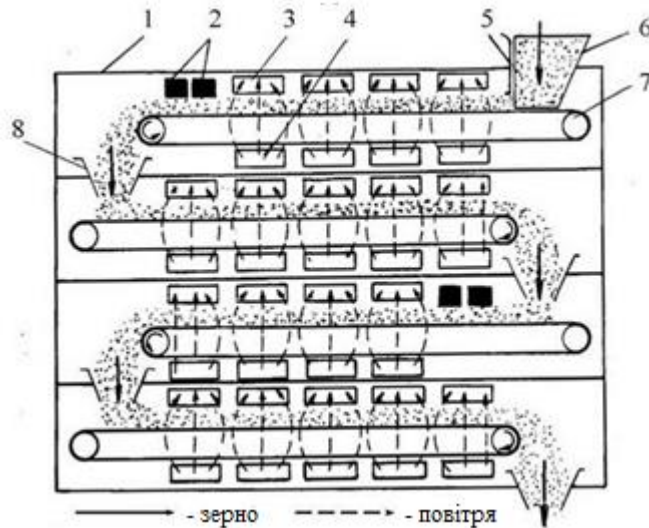
### **2.1 Аналіз сушарок, що використовують обраний метод**

Зернові сушарки класифікують за схемами руху сушильного агенту, кількості зон для сушіння та іншими показниками. Також існує поділ сушарок за конструктивними параметрами, відповідно до яких відносяться шахтні, барабанні, бункерні та інші їх типи.

Зерносушарки, що використовують НВЧ мають певний поділ. Першочергово вони поділяються на ті в яких процес сушки проходить в електромагнітному полі в камерах де є атмосферний тиск та відповідно вакуумі.

Для використання НВЧ можна застосовувати шахтні та конвеєрні типи сушарок, з попереднім їх вдосконаленням. На рисунку 2.1 наведена конвеєрна сушарка, що має в своїй структурі НВЧ пристрій.

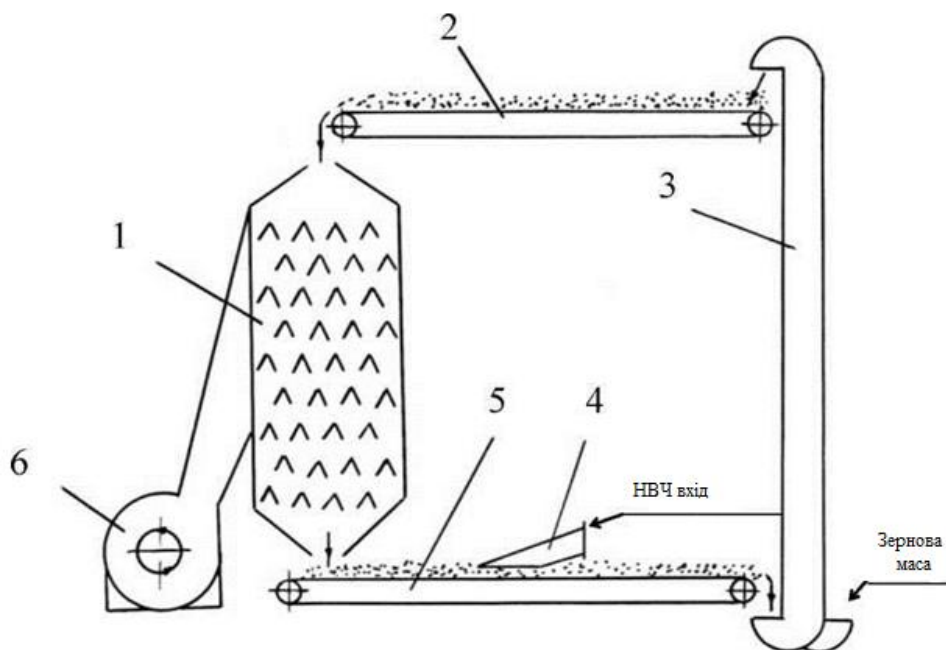
В ній зернова маса надходить до завантажувального бункеру, з якого вона розподіляється та подається на стрічковий транспортер. На транспортері зерно просушується під дією конвективних процесів, а далі проходить на обробку НВЧ променями. Подальший процес сушіння проводиться з використання конвекції та активного вентилявання на послідуєчих стрічкових транспортерах.



1 – корпус установки; 2 – НВЧ пристрої; 3 – газоходи; 4 – повітропроводи; 5 – регулювальна заслінка; 6 – бункер для завантаження зерна; 7 – транспортер стрічкового типу; 8 – направляюча.

Рисунок 2.1 – Конвеєрна установка з використанням НВЧ

На рисунку 2.2 наведена сушарка шахтного типу з використанням запропонованого способу. При цьому тут використовується комбінована схема сушки зерна з використанням НВЧ випромінювання.



1 – камера сушіння; 2 – стрічковий транспортер верхній; 3 – норія; 4 – НВЧ пристрій; 5 – стрічковий транспортер нижній; 6 – топковий вентилятор.

Рисунок 2.2 – Шахтна установка з використанням НВЧ

Сушка в даній сушарці (рис. 2.2) спочатку подається для просушування, а далі потрапляє на конвеєр де виконується вплив НВЧ полями. Після цього обробітку зернова маса потрапляє норією на повторну сушку.

Розглянуті два типи сушарок, що фактично є основними для використання в процесі сушіння зернових мас з використанням НВЧ полів.

## **2.2 Аналіз процесу сушіння зерна**

Сушка зернової маси ґрунтується загалом на двох принципах:

- виведення вологи з зернової маси без зміни агрегатного стану вологи та без підведення теплової енергії;
- видалення вологи з зернової маси зі зміною агрегатного стану вологи та з підведенням теплової енергії.

Перший принцип ґрунтується на використанні сорбційного методу сушіння. Даний метод засновується на тому, що зерно зміщується зрізного роду матеріалами, що є вологопоглинаючими. До таких матеріалів відносяться такі матеріали, як тирса, силікагель та інші. Іноді зустрічаються варіанти використання більш сухого зерна. Одним з різновидів є хімічний спосіб сушки. Хімічну сушку доволі часто застосовують при проведенні сушки різноманітних бобових культур. Хімічний спосіб сушки зерна застосовують для цих культур через те, що щільність їх оболонки погано віддає вологу при використанні класичного способу сушіння. При цьому за класичної сушки бобових культур не дозволяється виконувати сильний нагрів, адже їх оболонка може доволі сильно розтріскуватись.

Всі способи автоматизованої сушки відносяться до другого способу зерна. При його використанні здійснюється безпосередній нагрів зернової маси, а отже і зміна агрегатного стану вологи в зерні. До подібного способу відноситься і конвективний спосіб сушки зерна. При даному способі тепло передається від сушильного агенту, що рухається через зернову масу. При цьому залежно від температури сушильного агенту розрізняється або нагрівання або вентилявання зернової маси. Сушильний агент передаючи тепло до зернової маси також забирає вологу з неї. За даним принципом

працює більшість сушарок, адже даний спосіб є найбільш продуктивним та найбільш ефективним порівняно з сушінням без підведення тепла. Хоча даний спосіб також є більш затратним оскільки для його реалізації потрібно затратити додатково енергію на отримання сушильного агента певної температури чи навіть просто на його рух.

### **2.3 Аналіз основних режимів сушки зернових мас**

Режим сушіння зерна в основному характеризує температурний режим, а саме температуру, що рекомендована для зернової маси та гранично допустиме значення температури до якої можна нагрівати зернову масу. Іншим показником режиму сушіння є тривалість процесу та кількість циклів сушіння.

Станом на сьогодні режими сушіння характеризуються наступними параметрами:

- видом, родом та культурою зернової маси;
- значенням початкової вологості зернової маси;
- цільовим призначенням зернової маси та її якістю;
- особливостями сушарки;

Основною особливістю процесу сушки та одночасно його складністю є робота сушарки на гранично допустимих для зернової маси температурах. Такий підхід забезпечує роботу сушарки на максимальній продуктивності з забезпеченням якості кінцевої продукції. Необхідно сказати, що перевищення температури сушильного агенту призводить до псування зернової маси, а низька температура сушильного агенту призводить до значного зниження продуктивності зерносушарки в цілому.

При виборі температури сушильного агенту для зернової маси певної культури використовують параметр температурної стійкості зерна. Даний параметр характеризує температурну стійкість білка в зерні. При перевищенні даної температури виникає коагуляція білка та втрата функцій життєдіяльності зерна. В зерні пшениці недотримання температурного режиму призводить ще й до втрати клейковини в зерні.

Більш м'які режими сушки потрібно підбирати для насінневого зерна, оскільки не можна пошкодити зародок насінини, що вплине безпосередньо на його схожість при посіві. Норма сушіння насінневого зерна в порівнянні з продовольчим повинна бути знижена в два рази.

При більш м'яких температурах відбувається і сушка зерна бобових культур, адже, як зазначалось вище, їх оболонка має властивості, що перешкоджають виведенню вологи з нього. Температура сушіння бобових культур не повинна перевищувати 30-35 °С. Робота сушарки за таких температур вважається малопродуктивною а отже і відповідно затратною.

Для якісного виконання процесу сушіння зерна необхідною умовою є ступінчастість його проведення. При чому за перший прогін зерна через сушарку допускається забирати 4-6% вологи з зернової маси. До наступного просушування проводять охолодження зернової маси, яка сприяє перерозподілу вологи в зерні та її вирівнюванню між центральною та периферійною складовими зернини.

Ступінчастість дозволяє ефективно та без пошкодження зерна з високою швидкістю проводити процес вологовіддачі. Але подібна ступінчастість також ускладнює загальну організацію процесу сушіння та змушує ускладнювати процеси зберігання зернових мас різної ступні сушки.

## **2.4 Аналіз основних систем автоматизації сушарок**

Більшість існуючих систем автоматизації виконано блочним типом, з використанням такого переліку блоків:

- блок вводу (виводу) дискретного сигналу;
- восьми канального блоку вимірювачів-регуляторів;
- одно канального блоку вимірювачів-регуляторів.

Для аналізу системи автоматизації нами було обрано наступні блоки: МДВВ для блоку вводу (виводу) дискретного сигналу; ТРМ-138 для восьми канального блоку та ТРМ-201 для одно канального блоку. Зв'язок між даними блоками буде виконано з використанням автоматичних перетворювачів АСЗ-М, що працюють з інтерфейсом RS-232 та RS-485.

Для розуміння загального вигляду розглянемо всі основні елементи обраної до аналізу системи автоматизації сушарки (рис. 2.3-2.5).



Рисунок 2.3 - Блок вводу (виводу) дискретного сигналу МДВВ



Рисунок 2.4 – Восьми каналний блок вимірювачів-регуляторів TPM-138



Рисунок 2.5 – Одно каналний блок вимірювачів-регуляторів TPM-201

Наступним кроком для проведення аналізу системи автоматизації є визначення структури керування зерносушаркою. Загальне керування зерносушаркою, проведенням логіко-математичних розрахунків та збереження даних застосовуються ПОМ тонкий клієнт. Для розуміння загальної схеми управління зерносушаркою розглянемо структурну схему (рис. 2.6).

Необхідною умовою роботи системи автоматизації є застосування відповідного програмного забезпечення. Зазвичай в подібних модулях використовують системи типу SCADA, з забезпеченням особливостей програмування модулів. Необхідно зазначити, що дана система працює не на системі SCADA а на більш простішій системі Linux.

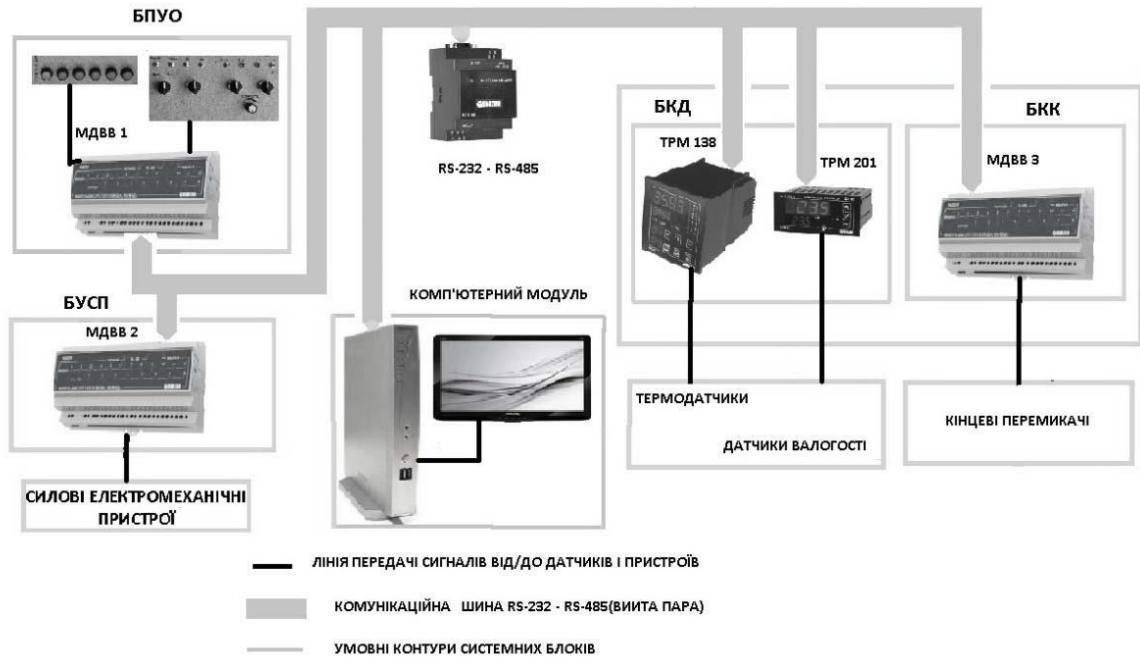


Рисунок 2.6 – Загальна структурна схема автоматизації зерносушарки

Дана система в повній мірі дозволяє проводити контроль основних процесів сушки зерна та виконувати задачі з підтримання його якісних показників.

## 2.5 Математичне моделювання процесу сушки зерна

Дослідження та побудова систем автоматизації ґрунтується в повній мірі на дотриманні основних операцій процесу сушіння зернової маси. Необхідною особливістю є дотримання чітких залежностей між вологістю та температурними даними сушильного агенту. Виходячи з цього пропонується розглянути основні особливості математичної моделі процесу сушіння зернової маси.

Системи керування зерносушаркою повинні включати декілька режимів керування: напівручний режим та автоматичний режим.

В напівручному режимі оператор виводить сушарку на необхідні параметри сушки, а далі автоматика підтримує всі процеси в заданому режимі. В даному режимі виникають втрати та пошкодження зерна через перепади в температурах сушильного агенту.

В автоматичному режимі роботи зерносушарки вихід на необхідні режими роботи сушарки виконуються автоматично. при чому початкові данні отримуються також автоматично.

Загальний стан зернової маси характеризується трьома параметрами: вологість, температура та засміченість. В процесі сушки в основному контролюють два параметри з трьох – вологість та температуру. Необхідно також зазначити, що додатково виникає необхідність введення ще одного показника – швидкість протікання процесів, що вводиться при аналізі температури та вологості системою автоматики. Виходячи з цього виникає ще один параметр, що характеризує тривалість сушіння зернової маси.

Для подібних вимог доволі добре підходить баштовий тип сушарки, де відбувається процес сушіння зернової маси в потоці. Зернова маса нагрівається в потоці гарячого сушильного агенту, що діє в поперечному потоці. Рух зернової маси відбувається під дією власної ваги до низу сушарки в поздовжньому напрямку. Охолодження зернової маси відбувається в відповідній окремій зоні за допомогою холодного зовнішнього повітря. Швидкість сушіння (відвантаження) зернової маси регулюється відповідним пристроєм. Виходячи з цього основна робота зерносушарки та її ефективність значною мірою залежить від системи автоматичного керування нею.

Автоматизована система керування зерносушаркою першочергово повинна забезпечувати визначення та інформування про параметри зернової маси в сушарці. Данна інформація дає можливість своєчасного реагування на зміну параметру сушильного агенту та на зміну параметрів зернової маси. Подібні системи керування дають можливість повністю забезпечити максимальне значення ефективності роботи сушарки.

Ефективність роботи сушарки, це певного роду інтенсифікація температур зернової маси та сушильного агенту.

Створення автоматизованої системи керування зерносушаркою, що є ефективною для керування процесом сушіння зернової маси потребує створення математичної моделі. Дана математична модель повинна описувати собою максимально можливу кількість параметрів та вимог процесу сушіння.

Сушіння зернової маси базується на математичній моделі вченого Філоненко:

$$\tau = \frac{1}{N} \left( \omega_1^c - \omega_2^c + A \int_{\omega_2^c}^{\omega_{кр}^c} \frac{d\omega}{(\omega_2^c - \omega_p^c)} + B(\omega_{кр}^c - \omega_2^c) \right) \quad (2.1)$$

де  $N$  – величина швидкісного сушіння зернової маси;

$\omega_p^c$  – вологовміст зернової маси, що є рівнодійним;

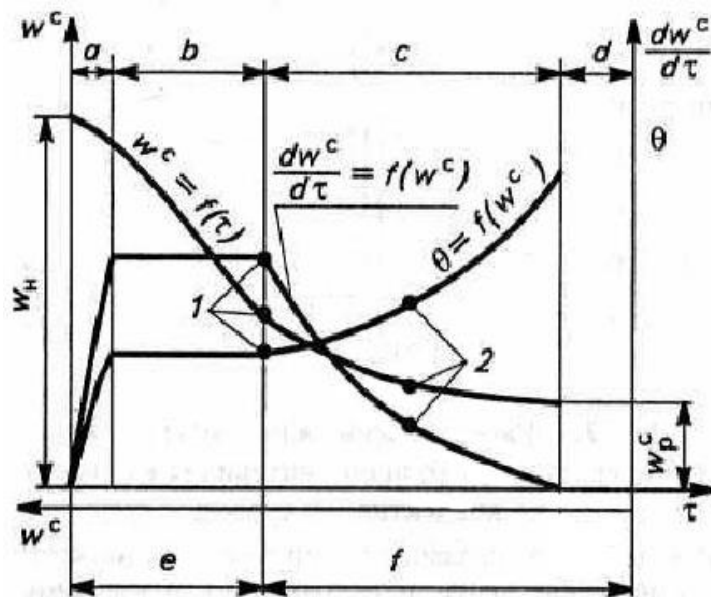
$\omega_1^c$  – вміст води зернової маси у критичній точці 1;

$\omega_2^c$  – вміст води зернової маси у критичній точці 2;

$\omega_{кр}^c$  – вологовміст, що є критичним для зернової маси;

$A$  та  $B$  – сталі величини рівняння, які визначаються експериментальними методами.

Поясненням даного методу розрахунку, що набуває графічного вигляду, що наведено на рисунку 2.7.



$a$  – нагрівальний період;  $b$  – період з постійним процесом сушіння;  $c$  – період з ускладненим процесом сушіння;  $d$  – період з рівноважним станом;  $e$  – період з вологим станом зернової маси;  $f$  – період з станом гігроскопічності зернової маси; 1 – перша критична точка процесу; 2 – друга критична точка процесу.

Рисунок 2.7 – Графік сушіння зернової маси

Необхідно зауважити, що використання даної моделі потребує проведення великої кількості експериментальних досліджень, для отримання відповідних сталих величин та підтвердження інших параметрів, що заведені в математичну модель.

Необхідно зауважити, що більшість процесів проводиться операторами сушіння, що встановлюють та керують процесами з власного досвіду, що не ґрунтуються на параметрах процесу відповідно до графіку, а керуються певного роду органолептичними якостями самого оператора. При цьому керуються попередніми параметрами:  $\omega_{\text{п}}$  – початкове значення вологості зернової маси;  $\omega_{\text{к}}$  – кінцеве значення вологості зернової маси;  $T_{\text{а}}$  – значення температури сушильного агенту;  $T_{\text{з}}$  – значення температури зернової маси;  $V$  – величина швидкості руху зернової маси в зерносушарці. Даними параметрами фактично може керуватись оператор сушки та використовувати їх при проведенні роботи.

Виходячи з цього, математична модель повинна включати данні параметри з можливістю керування ними. Враховуючи, що процес проходить в межах  $\leq 30\% \geq 8 - 14\%$ , то можна сказати, що процес сушіння зернової маси протікає в наведених на графіку періодах  $a$ ,  $b$  та частково  $c$ . Побудова математичної моделі повинно ґрунтуватись на певному тепловому балансі з врахуванням температур, що враховують параметри процесу сушіння.

Рівняння теплового балансу описується певними рівняннями, які необхідно врахувати при формуванні математичної моделі:

1. Рівняння визначення енергії, що затрачається на нагрівання сухої маси зерна:

$$dQ_3 = \vartheta_3 (T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}) m_3 \quad (2.2)$$

2. Рівняння визначення енергії витраченої на проведення випарювання вологи з зерна:

$$dQ_B = \vartheta_B (T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}) (m_3 \rho + m_3 d\rho) \quad (2.3)$$

3. Рівняння витраченої енергії на проведення випаровування вологи з зернової маси:

$$dQ_{\text{вип}} = -r_{\text{вип}} m_3 d\rho \quad (2.4)$$

4. Рівняння витраченої енергії на проведення процесу нагрівання пару:

$$dQ_{\text{пар}} = \vartheta_{\text{пар}} (T_{\text{вип}} - T_{\text{вх}}) m_3 (-d\rho) \quad (2.5)$$

В даних рівняннях  $dQ$  це певна кількість тепла, що витрачається на процес сушіння зернової маси з врахуванням процесу випаровування.

При визначенні процесу сушіння необхідно враховувати енергію, що віддається повітрям:

$$dQ_{\text{пар}} = m_{\text{воз}} (T_{\text{ва}} - T_{\text{вп}}) \vartheta_{\text{воз}} \quad (2.6)$$

$$m_{\text{в}} = m_3 \rho; m_{\text{пар}} = m_3 d\rho \quad (2.7)$$

де  $\rho$  – величина відносної вологості зернової маси;

$m_{\text{в}}$  – кількість водяної пари в зернині;

$m_{\text{пар}}$  – кількість пари в зернині.

Величина швидкості подачі теплової енергії в сушарку прямо пропорційна до різниці значення температури:

$$dQ = k_2 (T_{\text{ва}} - T_{\text{вх}}) dt \quad (2.8)$$

де  $T_{\text{вх}}$  – початкове значення температури зернової маси;

$T_{\text{ва}}$  – значення температури, що проходить в середині основного процесу сушіння.

$$T(t) = T_{\text{вх}}; T_{\text{вих}} = T(t) + dT \quad (2.9)$$

$$k_2(T_{\text{ва}} + T(t))dt = \vartheta_3 m_3 dT + \vartheta_B m_3 (\rho + d\rho) \Delta T - r_{\text{вип}} m_3 d\rho - \vartheta_{\text{пар}} (T_{\text{вп}} - T(t)) m_3 dt \quad (2.10)$$

$$k_2(T_{\text{ва}} + T(t)) = m_3 \left( \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \vartheta_c (\rho + d\rho)) - (r_{\text{вип}} + \vartheta_{\text{пар}} (T_{\text{вп}} - T(t))) \frac{d\rho}{dt} \right) \quad (2.11)$$

В даних рівняннях  $d\rho$  є певного роду нескінченно малою величиною.

$$\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ва}} + T(t)) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_B) - (r_{\text{вип}} + \vartheta_{\text{пар}} (T_{\text{вп}} + T(t))) \frac{d\rho}{dt} \quad (2.12)$$

де  $\frac{dT}{dt}$  – величина швидкості процесу нагрівання зернової маси;

$\frac{d\rho}{dt}$  – величина швидкості процесу зміни вологи;

$r_{\text{вип}}$  – величина відносного випаровування.

Виконаємо вираження  $m_{\text{пов}}$  через величину швидкості прокачування повітря  $v_{\text{пов}}$ , в результаті отримаємо рівняння:

$$m_{\text{пов}} = v_{\text{пов}} dt \quad (2.13)$$

З вищенаведених рівнянь можна отримати наступні вирази:

$$v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}} (T_{\text{ва}} - T_{\text{вп}}) dt = k_2 (T_{\text{ва}} - T_{\text{вх}}) dt \quad (2.14)$$

$$v_{\text{пов}} \cdot \vartheta_{\text{пов}} (T_{\text{ва}} - T_{\text{вп}}) = k_2 (T_{\text{ва}} + T(t)) \quad (2.15)$$

Значення температури зернової маси після нагріву описується рівнянням:

$$T_{\text{ВП}} = T_{\text{ВО}} - \frac{k_2}{v_{\text{ПОВ}} \cdot \vartheta_{\text{ПОВ}}} (T_{\text{ВА}} + T(t)) \quad (2.16)$$

$$\begin{cases} \frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ВО}} - T) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_B) - \left( r_{\text{ВИП}} + \vartheta_{\text{ПАР}} \left( T_{\text{ВО}} - \frac{k_2}{v_{\text{ПОВ}} \cdot \vartheta_{\text{ПОВ}}} (T_{\text{ВО}} - T) \right) \right) \frac{d\rho}{dt}; \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1 (\rho - \rho_{\text{ПОВ}}). \end{cases} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ВО}} - T) = \frac{dT}{dt} (\vartheta_3 + \rho \vartheta_B) - \left( r_{\text{ВИП}} + \vartheta_{\text{ПАР}} \left( T_{\text{ВО}} - \frac{k_2}{v_{\text{ПОВ}} \cdot \vartheta_{\text{ПОВ}}} (T_{\text{ВО}} - \right. \right. \\ \left. \left. T) \right) \right) k_1 (\rho - \rho_{\text{ВИП}}) \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = \frac{\frac{k_2}{m_3} (T_{\text{ВО}} - T) + \left( r_{\text{ВИП}} + \vartheta_{\text{ПАР}} \left( T_{\text{ВА}} - \frac{k_2}{v_{\text{ПОВ}} \cdot \vartheta_{\text{ПОВ}}} (T_{\text{ВО}} - T) \right) \right) k_1 (\rho - \rho_{\text{ПОВ}})}{\vartheta_3 + \rho \vartheta_B} \\ \frac{d\rho}{dt} = k_1 (\rho - \rho_{\text{ПОВ}}). \end{cases} \quad (2.19)$$

Виходячи з цих рівнянь отримуємо:

$$T = T_{\text{НА}} - \frac{1}{k} e^{-t \frac{k_2 m_3 - k_1}{\vartheta_3 - \rho \vartheta_3}} \quad (2.20)$$

Визначення швидкості руху зернової маси по зерносушарці необхідною умовою є складання системи рівнянь визначення її оптимального значення:

$$\begin{cases} T_3(0) = T_{\text{ПА}} (1 - e^{-kt_0}); \\ T_3(\tau) = T_{\text{ПА}} (1 - e^{-k(t_0 + \tau)}). \end{cases} \quad (2.21)$$

де  $T_3(0)$  – початкове значення температури зернової маси;

$T_3(\tau)$  – кінцеве значення температури зернової маси в результаті його прогріву.

В результаті можна отримати відповідний графік, що відповідає та характеризує процес сушіння (рис. 2.8).

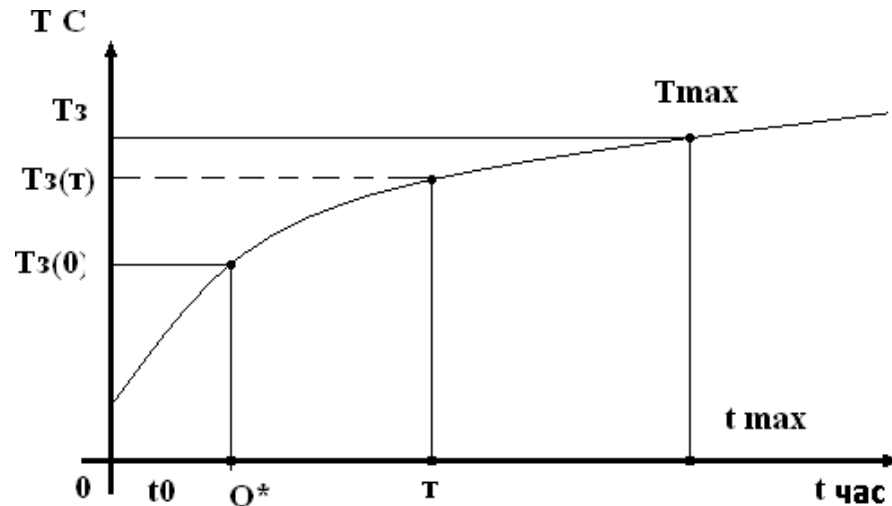


Рисунок 2.8 – Графік процесу нагрівання зернової маси для отримання необхідної системи рівнянь

З описаних вище рівнянь виникає можливість визначити температуру зернової маси за час проведення процесу нагрівання:

$$T_3(t) = T_a \left( 1 - \frac{T_3(0)}{T_a} e^{-\frac{1}{\tau} \ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_3(t)}} \right) \quad (2.22)$$

З даного рівняння можливо провести визначення шкідливості переміщення зернової маси по сушарці для забезпечення оптимального процесу сушіння. Для роботи даної математичної моделі необхідною умовою є формування алгоритму дій:

- проводиться замір температури зернової маси в будь який момент часу після початку виконання процесу сушіння зернової маси;
- очікування часу, який необхідний для нагрівання зерна до температури в  $15^\circ\text{C}$ ;
- визначення параметру  $T_3(t)$ ;

- визначення параметру  $T_a$ ;
- закладання максимального значення температури зернової маси на вході;
- з параметру повного об'єму можливо визначити параметр швидкості переміщення зернової маси в сушарці, що описується наступним рівнянням:

$$v = \frac{V_k}{\tau} \cdot \frac{\ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_3(\tau)}}{\ln \frac{T_a - T_3(0)}{T_a - T_{max}}} \cdot k_3 \quad (2.23)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт, що враховує пропорційність матеріалу для проведення сушіння.

Отримана математична модель в повній мірі описує процес сушіння зернової маси з визначенням необхідних температур та необхідної швидкості процесу сушіння зернової маси.

### **Висновок до розділу**

Велика кількість зерносушарок та їх будови потребує комплексного підходу до процесу сушіння зернової маси. Основною проблемою процесу автоматизації є вибір технології сушіння, що є прогресивною та потребує подальшої розробки. Для виконання процесу сушіння зернової маси нами обрано технологію з НВЧ, що має певний ряд переваг. При цьому необхідно зазначити, що для реалізації процесу сушіння є потреба в аналізі основних конструкцій зерносушарок на основі яких виконується моделювання основних процесів з вказанням контрольних параметрів. Запропонована математична модель має на меті керування зерносушаркою однаково ефективно, як в напівавтоматичному так і в автоматичному режимі роботи.

### **3 ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ**

#### **3.1 Аналіз особливостей автоматизації процесу сушіння зерна**

Система автоматизації процесу сушіння зернової маси необхідна для проведення необхідності в забезпеченні та підтриманні режиму роботи різноманітного зерносушильного обладнання, при якій буде забезпечуватись необхідна якість зернової маси. При цьому необхідною умовою є контроль температур процесу, швидкостей протікання процесів та вологості зернової маси.

Аналіз системи автоматизації процесу сушіння зернової маси було виконано на основі імітаційного моделювання цифровими методами з використанням програмного забезпечення з аналізом особливостей керування та каналів надходження інформації.

Моделювання проводилось для каналів отримання інформації даних по вологості зернової маси та температур сушильного агенту. Визначення автоматизованої системи регулювання за параметром вологості зернової маси проводилось для забезпечення особливостей підвищення динамічної точності процесу з забезпеченням необхідних якісних показників регулювання процесу сушіння.

При використанні даних систем необхідно зазначити, що порушення допустимих значень вологості зернової маси зустрічається рідше в порівнянні з параметром температури.

Сушіння зернової маси включає в себе технологічні процеси, які слід поділяти на подачу вологої зернової маси, транспортування, створення агенту сушіння, охолодження зернової маси та проміжні процеси транспортування. Але необхідною умовою виконання всіх цих процесів є дотримання температурних режимів проходження всіх процесів. При цьому вибір температурних режимів першочергово залежить від типу та призначення зернової маси.

Для формування дослідження системи автоматизації в умовах ТОВ «Агротон-С» обрано зерно пшениці, що формується для забезпечення продовольчих цілей. З отриманих даних сировини для сушіння початковою вологіст. є вологість в 20 % та вміст клейковини в зерні більше 80 одиниць ВДК.

Необхідною умовою є вибір режиму сушіння зернової маси з вибором температурного режиму. Даний режим обрано нами відповідно до заданої маси пшениці та її параметрів. Дані зведемо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Опис обраного режиму для сушіння озимої пшениці

Вологість зернової маси, %	Температура зернової маси, що є гранично-допустима, °С	Граничне значення температури для першої зони, °С	Граничне значення температури для другої та третьої зон, °С
20,0	60,0	130,0	150,0

Для проведення дослідження необхідною умовою є визначення основних параметрів процесу сушіння зернової маси пшениці. Розглянемо їх більш детально в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні зони контролю різних параметрів технологічного процесу

Опис параметру для здійснення контролю	Значення параметру, що є номінальним	Відхилення від номінальних значень в процесі сушки		
		Тривалі значення	Миттєві	
			значення	часовий проміжок, хв
Значення температури зернової маси в першій зоні $T_1$ , °С	50,0	±1	±3	15
Значення температури зернової маси в другій зоні $T_2$ , °С	55,0	±1	±3	15
Значення температури зернової маси в третій зоні $T_2$ , °С	55,0	±1	±3	15
Значення вологості зернової маси на виході з сушки $M_3$ , %	14,0	±0,5	±3	20

Загальною проблемою процесу сушіння є погане придушення різних збурень. При цьому фактично повністю відсутній вплив різноманітних коливань вологості зернової маси, що подається на процес сушки зерна. При цьому основною метою є необхідність забезпечення можливих проблем з недосушуванням зернової маси.

Необхідною умовою є забезпечення вимірювання всіх параметрів в поточності процесу сушіння. Для визначення значень, що є гранично допустимими необхідною умовою є визначення схеми її побудови (рис. 3.1).

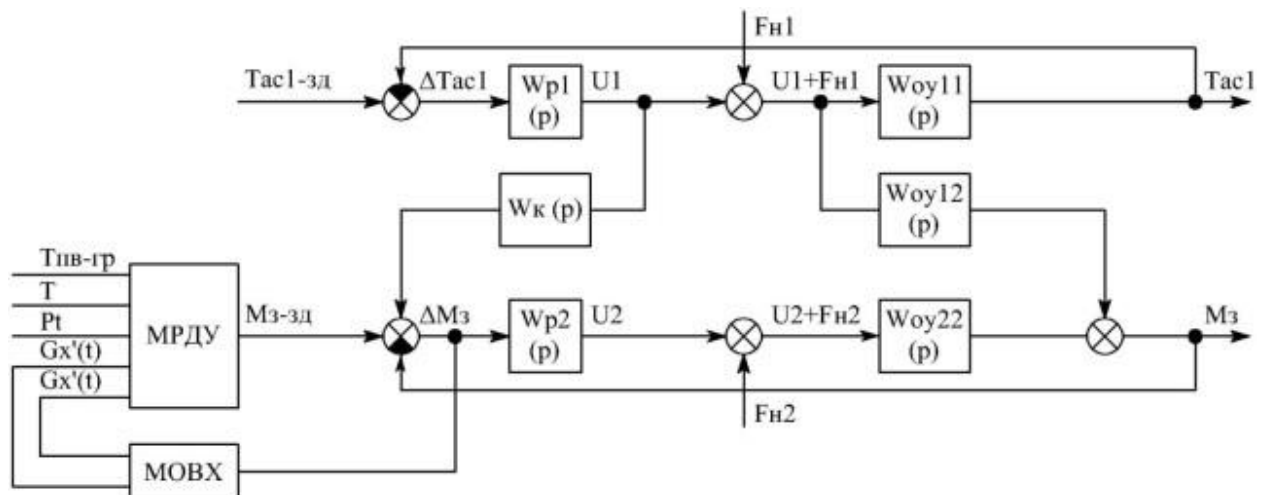


Рисунок 3.1 – Схема визначення гранично допустимих значень процесу сушки зернової маси

### 3.2. Побудова моделі автоматики зерносушарки для проведення моделювання процесів сушки

Як зазначалось вище, проведення досліджень має виконуватись з використанням методу імітаційного моделювання з використанням цифрової візуалізації. Подібний метод потребує побудови відповідних моделей технологічного процесу з визначенням зв'язків між ними.

Необхідно зазначити, що регулювання температури в подібних схемах відбувається з використанням алгоритму диференційного регулювання. При цьому пологість регулюється з використанням гарантуючої системи керування. Виходячи з цього потрібно враховувати певний динамічний зв'язок між даними ланками системи автоматизації. Тож для продовження аналізу

пропонується провести створення електронних схем моделювання всіх основних процесів (рис. 3.2 – 3.8).

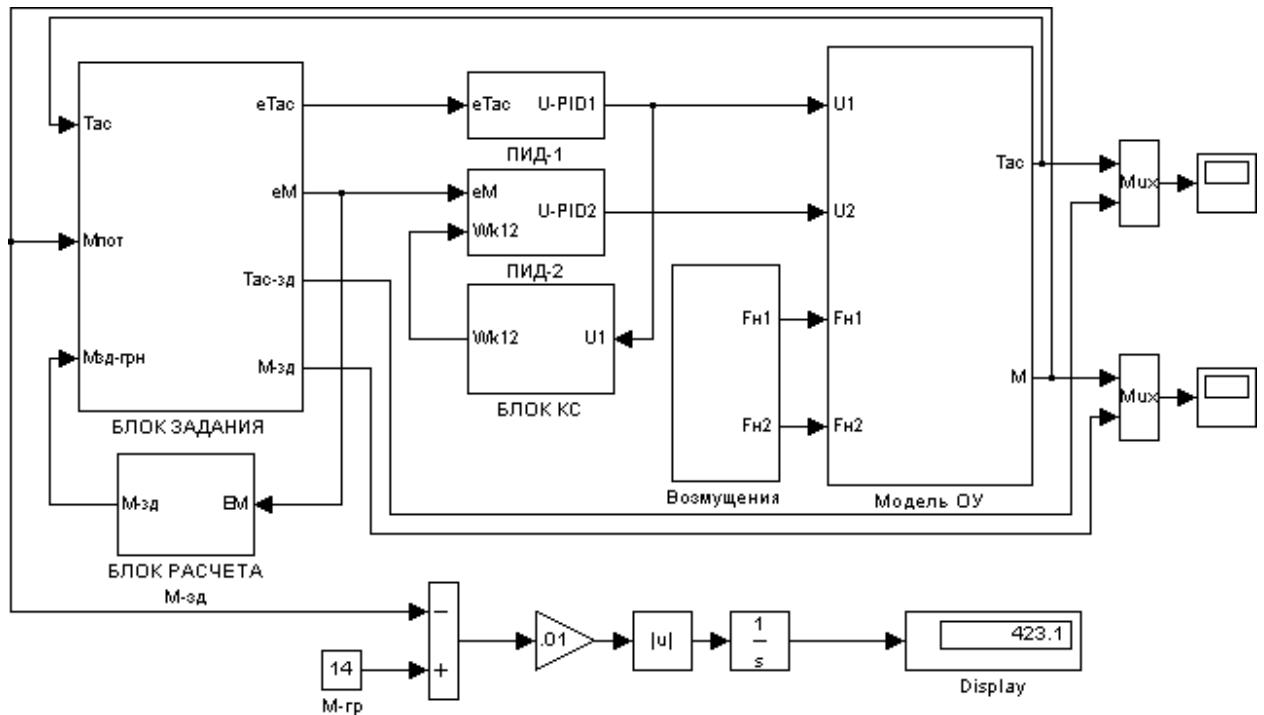


Рисунок 3.2 – Загальна схема моделювання процесу сушки зерна

В даній схемі необхідною умовою є формування основних блоків, що входять до загальної системи автоматизації, а отже необхідною умовою є підготовка схем кожного елементу окремо.

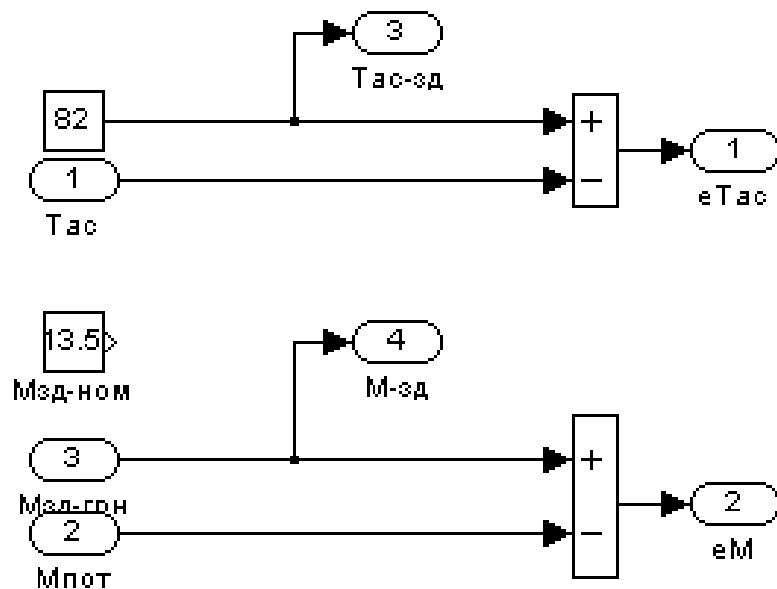


Рисунок 3.3 – Схема виконання блоку формування завдання

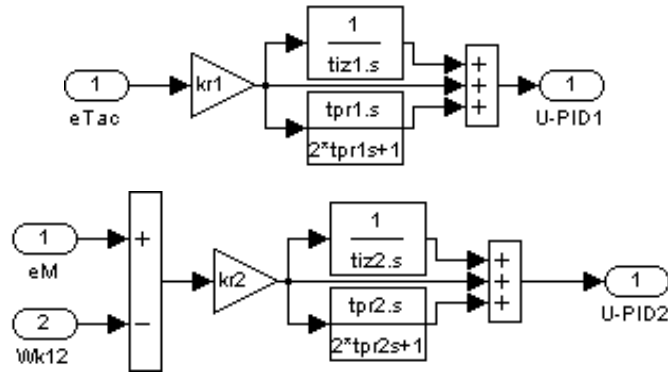


Рисунок 3.4 – Схема виконання блоку набору регуляторів

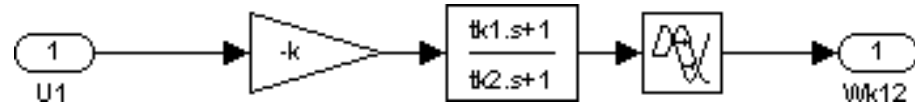


Рисунок 3.5 – Схема виконання блоку для зв'язкового коригування

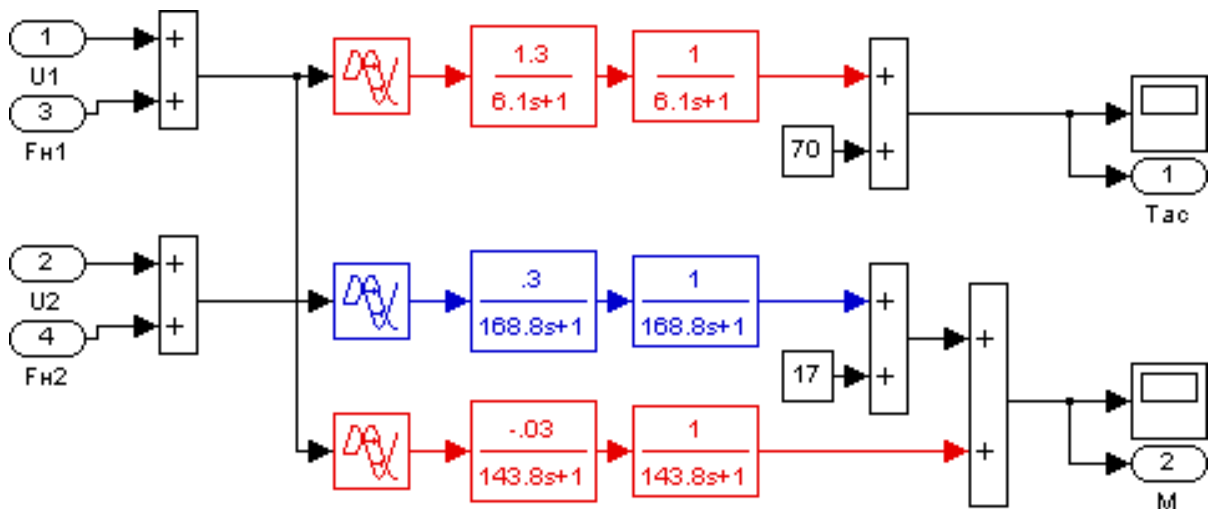


Рисунок 3.6 – Схема виконання блоку каналів для системи керування

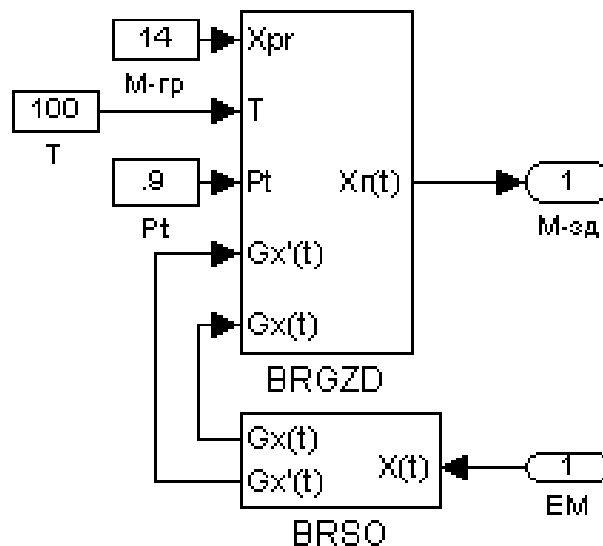


Рисунок 3.7 – Схема реалізації блоку проведення розрахунків за параметром вологості

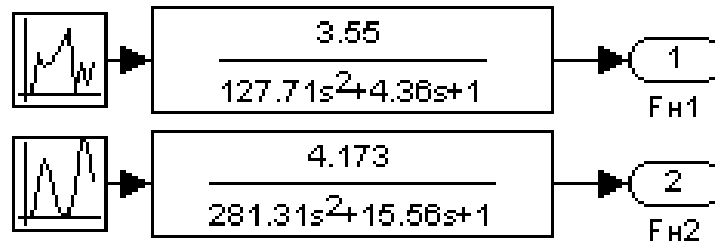


Рисунок 3.8 – Схема реалізації блоку формування збуджень

### 3.3 Результати проведеного моделювання процесу сушки зернової маси

Як зазначалось вище, для підвищення якісного регулювання в контурі визначення вологості необхідно виконання якості динамічної точності. В випадку системи автоматизації сушарок висока динамічна точність необхідна для виконання зв'язку керування, що компенсує шкідливість впливу при зміні положення робочого органу сушарки. Даний робочий орган може бути елементом з системи керування температурним режимом з подальшим впливом на показники вологості.

Доцільно порівнювати всі отримані результати з номінальним режимом роботи системи керування зерносушарки. Графік сушки зерна пшениці за таких умов наведено на рисунку 3.9.

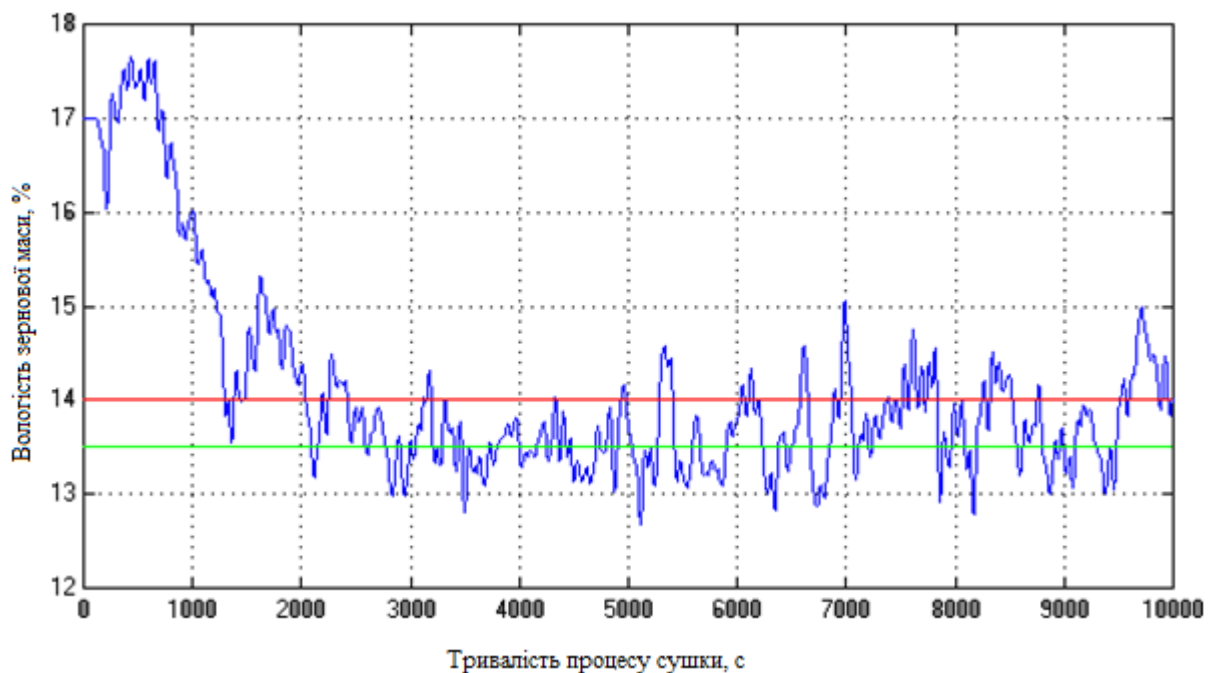


Рисунок 3.9 – Процес сушки зерна пшениці при номінальних параметрах системи керування зерносушарки

На рисунку 3.9, червоною лінією зображено максимальне або гранично допустиме значення вологості зерна пшениці, яке задано рівнем в 14 %. Синя лінія зображує зміну вологості в зерновій масі. Зелена лінія характеризує параметр ймовірності виникнення несприятливої ситуації при сушінні зерна пшениці.

Розглянемо певну зміну роботи системи через зміну параметру виникнення несприятливих ситуацій при сушінні зерна та параметру інтервалу часової оцінки.

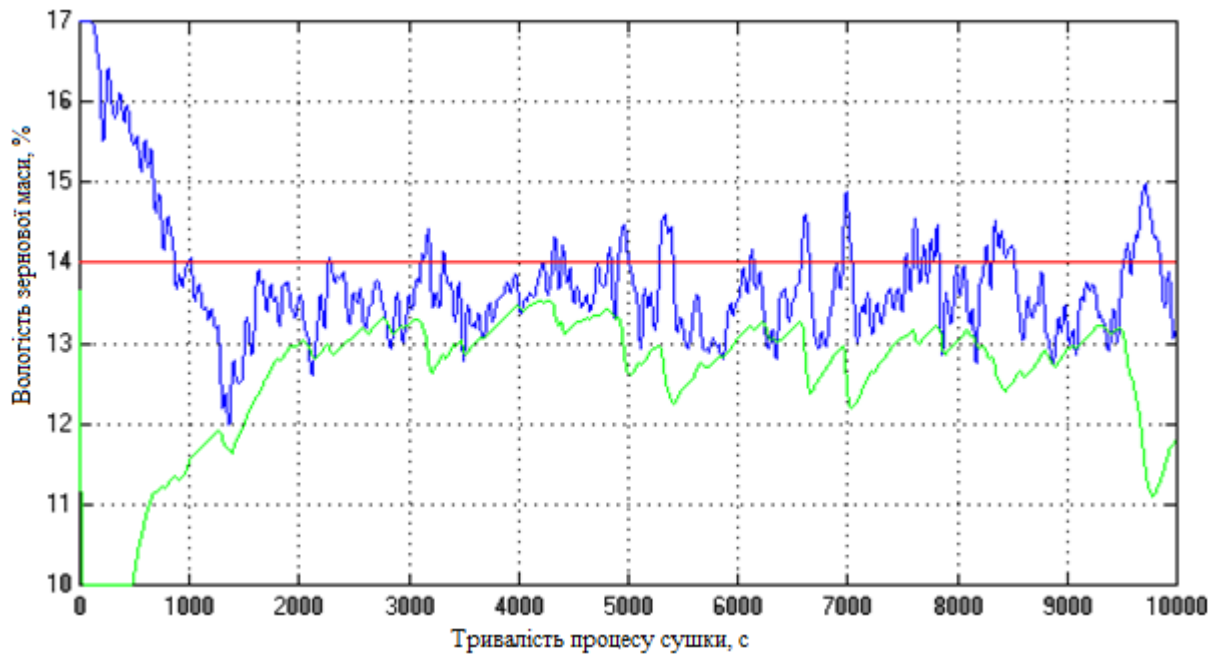


Рисунок 3.10 – Процес сушки зерна пшениці при параметрі інтервалу часової оцінки 100 та параметрі виникнення несприятливих ситуацій 0,9 системи керування

З рисунку 3.10 спостерігаємо певне відхилення від прямої лінії параметр ймовірності виникнення несприятливої ситуації при сушінні зерна пшениці. Це говорить про нестабільність процесу сушіння.

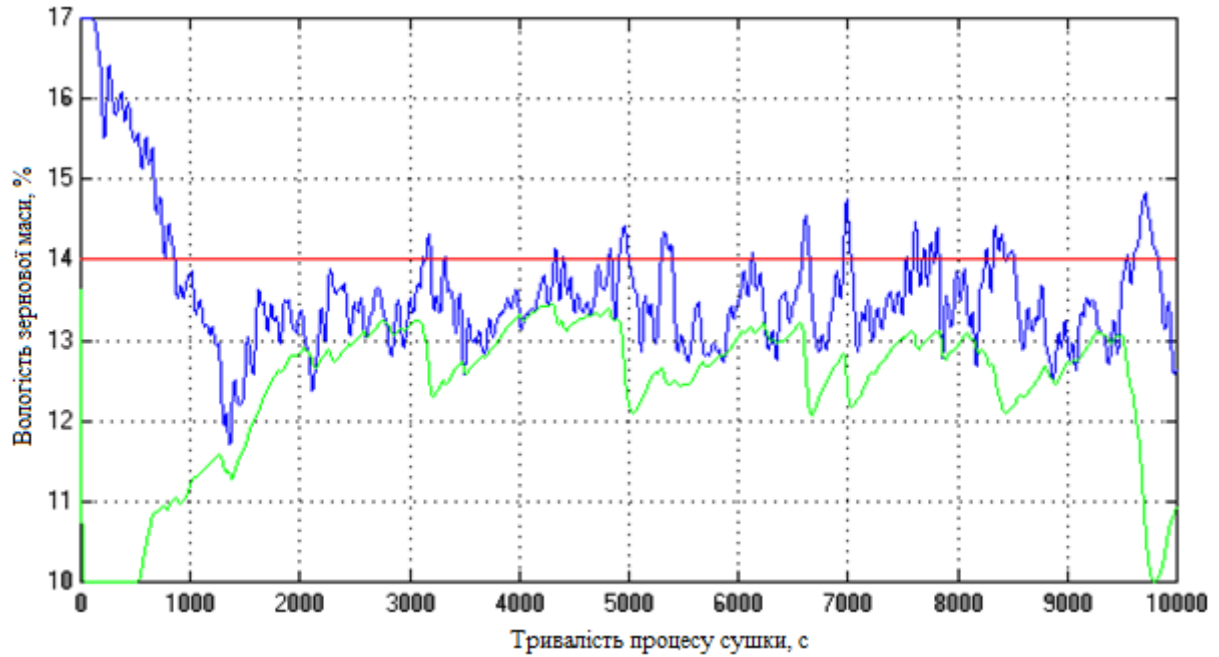


Рисунок 3.11 – Процес сушки зерна пшениці при параметрі інтервалу часової оцінки 200 та параметрі виникнення несприятливих ситуацій 0,9 системи керування

При проведенні аналізу отриманих графіків основним параметром якості процесу сушіння, що забезпечується системою автоматизованого керування є кількість виходів параметру за межі гранично допустимого значення. Для порівняння необхідною умовою є підрахунок даних значень з подальшим аналізом, тож наведемо дані значення в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Визначення якості роботи системи автоматизованого керування процесом сушіння зерна пшениці

№ з/п	Опис системи керування	Кількість виходів за гранично допустиме значення, випадків
1	Процес сушки зерна пшениці при номінальних параметрах системи керування зерносушарки	30
2	Процес сушки зерна пшениці при параметрі інтервалу часової оцінки 100 та параметрі виникнення несприятливих ситуацій 0,9 системи керування	20
3	Процес сушки зерна пшениці при параметрі інтервалу часової оцінки 200 та параметрі виникнення несприятливих ситуацій 0,9 системи керування	16

З таблиці 3.3 видно, що за умови роботи сушарки при номінальних параметрах спостерігається доволі велика кількість виходів параметру вологи за гранично допустимі значення. При цьому за умови зміни інтервалу часової оцінки спостерігається зменшення кількості виходів параметру вологи за межі максимуму в 14 %.

### **Висновки до розділу**

Проведене моделювання системи автоматизації зерносушарок дає можливість дослідити ефективність та якість виконання процесу сушки зерна. При цьому комп'ютерне моделювання процесу сушки зерна показує, що за умови зміни параметрів інтервалу часової оцінки можна виконати сушку зернової маси більш якісно. Необхідно зазначити, що при цьому спостерігається певна перевитрата палива для процесу сушіння та зниження продуктивності сушарки в цілому.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Землеробство в будь-якому сільськогосподарському підприємстві не можливе без використання в технологічному процесі сушильного обладнання. Зерносушильне обладнання забезпечує швидкість процесу сушіння з подальшим підвищенням якісних та технологічних характеристик зернової маси. При цьому процес сушки зерна має велику кількість різноманітних небезпечних факторів, що негативно впливають в першу чергу на працівників та оточуюче середовище.

Вплив на оточуюче середовище здійснюється через викиди різноманітних шкідливих речовин в повітря. Ці шкідливі речовини пов'язані з тим, що для процесу сушіння зернової маси необхідно використовувати сушильний агент певної температури. При цьому підігрів сушильного агенту відбувається з використанням різноманітних горючих речовин, таких як, газ, дизельне паливо, відходи деревообробного виробництва, солома та інше. При спалюванні даних матеріалів виділяються димові гази, які підігрівають повітря та направляються на сушку зерна в камеру зерносушарки, а далі просто викидаються в повітря. В результаті процесу сушіння зерна з зернової маси виділяється надлишкова кількість вологи, що разом з димовими газами теж викидається в атмосферу. За умови контакту вологи з димовими газами можуть утворюватися різного роду шкідливі речовини чи навіть кислоти.

Зменшення подібного впливу можливо лише за умови використання більш екологічних способів сушіння зернової маси, таких як, НВЧ метод. При цьому в атмосферу виділяється лише волога з зернової маси без димових газів оскільки даний метод використовує електричну енергію для формування електромагнітного поля.

При цьому необхідно зауважити, що при всіх способах сушки в навколишнє середовище виділяється значна кількість теплової енергії, що негативно впливає на парниковий ефект.

Іншим негативним впливом з точки зору охорони праці є висока травмо небезпечність процесу сушки зернової маси. Отже розглянемо їх.

Зерно після збирання фактично одразу надходить на зерносушарки для зменшення його вологості та подальшого його очищення. Підвіз зернової маси виконується різноманітними вантажними автомобілями чи тракторними агрегатами. Виходячи з цього існує доволі велика ймовірність потрапити під колеса даних транспортних засобів при обслуговуванні та виконанні робіт в дворі елеваторного господарства. Тож перед початком зернозбиральних робіт проводять виконують аналіз руху транспортних засобів та прокладають їх таким чином, щоб вони мінімально перетинались з пішохідними маршрутами підприємства. При цьому водій при в'їзді до елеваторного господарства повинен подати звуковий сигнал для звернення уваги інших учасників руху. Піші працівники повинні пересуватись лише по пішохідним маршрутам та не потрапляти до сліпих зон вантажних транспортних засобів.

При виконанні процесу сушіння зерна першочергової уваги заслуговують різноманітні рухомі частини норій та завантажувально-розвантажувальних транспортерів. Всі рухомі частини повинні бути закриті відповідними кожухами та захисним обладнанням.

Доволі великої уваги потребує процес запуску сушарки та подальшого сушіння, адже тут використовується різноманітні види палива, що при необережному поводженні може призвести до виникнення пожежі. Необхідно зауважити, що велика кількість сухих зернових мас доволі легко загоряється та може нанести невиправної шкоди багатьом працівникам елеватору.

Іншою небезпекою є небезпека враження електричним струмом, що подається до різних складових частин зерносушарок чи допоміжного обладнання. Додатково необхідно зауважити, що всі елементи обладнання повинні бути заземлені, у випадку використання електричної енергії для процесу сушіння.

При проходженні процесу сушки зерна необхідно зазначити, що на працівників діє велика кількість небезпечних та шкідливих факторів. Це такі фактори як, шум, запыленість, підвищена температура, пар, електромагнітне випромінювання та інші.

Суттєвої уваги потребує запиленість особливо в закритих приміщеннях елеваторного господарства оскільки це є вибухонебезпечним явищем.

Необхідно зазначити, що для уникнення шкідливої дії вище перелічених факторів на працівників, необхідною умовою є чітке дотримання вимог охорони праці. Також, обов'язковою умовою є забезпечення всіх працівників засобами індивідуального захисту та спецодягом. Контроль за термінами використання його покладається на відповідні відділи з охорони праці та на керівника чи бригадира.

До роботи в шкідливих умовах забороняється допускати осіб, яким не виповнилося 18 років. При цьому всі працівники повинні вчасно проходити медичний огляд в медпункті підприємства чи в зазначеному закладі охорони здоров'я.

При аналізі діяльності підприємства з боку охорони праці можна зазначити високий рівень її організації. При цьому за останні роки діяльності господарства травмування чи нещасні випадки були відсутні.

### **Висновки до розділу**

Виконання всіх заходів з охорони праці дає можливість уникнути виникнення травмонебезпечних ситуацій та летальних випадків. Наведені основні небезпечні фактори дають можливість аналізу та забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту. При цьому відсутність випадків травмування та нещасних випадків позитивно впливає на організацію праці на підприємстві та зменшує витрати на їх відшкодування.

## 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для визначення ефективності економічного обґрунтування пропонується почати з визначення кількості капіталовкладень в систему автоматизації, що ґрунтується на основних принципах описаних в попередніх розділах. Вартість обладнання та основні характеристики обладнання наведена в таблиці додатку А1. Отже величина капіталовкладень становить:

$$K = K_{\text{обор}} + K_{\text{дост}} + K_{\text{навч}} + K_{\text{зб}} \quad (5.1)$$

де  $K_{\text{обор}}$  – вартість придбання необхідного обладнання, грн;

$K_{\text{дост}}$  – вартість доставляння обладнання, грн;

$K_{\text{навч}}$  – вартість навчання персоналу для роботи з системою автоматизації процесу сушіння, грн;

$K_{\text{зб}}$  – вартість операцій по збиранню обладнання системи автоматизації, грн.

Для розрахунку необхідно обрати наступні показники у відсотковому відношення від загальної вартості обладнання: вартість доставки становить 20%, вартість навчання складає 2% та вартість збиральних операцій становить 25 % від загальної вартості обладнання.

$$K = 1585000 + 317000 + 31700 + 396250 = 2329950 \text{ грн}$$

Наступним показником є визначення річних експлуатаційних витрат на проведення сушіння зернової маси. Даний показник визначаємо з рівняння:

$$Z = Z_{\text{д}} + A + P + Z_{\text{ел}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{оп}} + Z_{\text{ін}} \quad (5.2)$$

де  $Z_{\text{д}}$  – затрати на отримання матеріалу, грн;

$A$  – витрати по проведення амортизації, грн;

$P$  – затрати пов'язані з проведенням ремонтних робіт, грн;

$Z_{ел}$  – затрати на оплату електричної енергії, грн;

$Z_{оп}$  – затрати пов'язані з витратами на охорону праці, грн;

$Z_{ін}$  – затрати пов'язані з іншими видами робіт чи послуг, грн.

Річні витрати на проведення амортизації становлять:

$$A = \frac{P_a \cdot K}{100} \quad (5.3)$$

де  $P_a$  – величина норми відрахувань на проведення амортизації, становить  $P_a = 12,6\%$ .

$$A = \frac{12,6 \cdot 2329950}{100} = 293573 \text{ грн}$$

Відрахування на проведення ремонтів визначається з рівняння:

$$P = \frac{K \cdot H_p}{100} \quad (5.4)$$

де  $H_p$  – величина відрахувань на проведення ремонтів та різних технічних обслуговувань, становить  $H_p = 5,1\%$ ;

$$P = \frac{5,1 \cdot 2329950}{100} = 118827 \text{ грн}$$

Затрати пов'язані з закупівлею матеріалу визначаються з рівняння:

$$Z_d = O \cdot C_m \quad (5.5)$$

де  $C_m$  – величина собівартості закупки матеріалу, грн;

$O$  – обсяг продукції, що необхідно обробити,  $\text{м}^3$ .

Для розрахунку пропонується обрати зерно пшениці вартість якого в необробленому вигляді становить 3500 грн.

Значення необхідного об'єму продукції визначаються:

$$O = n \cdot E \quad (5.6)$$

де  $n$  – кількість циклів роботи камери сушарки, циклів;

$E$  – місткість сушильної камери, м<sup>3</sup>.

Місткість сушильної камери визначається з рівняння:

$$E = \Gamma \cdot \beta \quad (5.7)$$

де  $\Gamma$  – об'єм камери відповідно до технічної характеристики, м<sup>3</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує особливості заповнення сушильної камери,  $\beta = 0,9$ .

$$E = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ м}^3$$

$$O = 48 \cdot 90 = 4320 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$Z_d = 4320 \cdot 3500 = 15150000 \text{ грн}$$

Затрати на електричну енергію складають:

$$Z_{\text{ел}} = P_{\text{ус}} \cdot t_{\text{роб}} \cdot T_{\text{ел}} \quad (5.8)$$

де  $P_{\text{ус}}$  – значення встановленої потужності, кВт;

$t_{\text{роб}}$  – час роботи зерносушарки за рік;

$T_{\text{ел}}$  – вартість електроенергії для підприємств,  $T_{\text{ел}} = 6,9 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ .

Час роботи зерносушарки за рік складає:

$$t_{\text{роб}} = (365 - B)t_{\text{доб}} - t_{\text{зав}} - t_{\text{ох}} \quad (5.9)$$

де  $B$  – дні в які камера зерносушарки вимушено простоює;

$t_{\text{доб}}$  – кількість годин в добі, год;

$t_{\text{зав}}$  – час на завантаження зернової маси до сушарки, год;

$t_{\text{ох}}$  – час на охолодження зернової маси, год.

Час, необхідний на проведення робіт з навантажування чи розвантажування зернової маси складає:

$$t_{\text{зав}} = t_{\text{п}} \cdot n \quad (5.10)$$

де  $t_{\text{п}}$  – час потрібний для проведення навантажування та розвантажування однієї камери зерносушарки, год;

$$t_{\text{зав}} = 8 \cdot 48 = 384 \text{ год}$$

Час, необхідний для проведення охолодження зернової маси визначається:

$$t_{\text{ох}} = 1 \cdot 3 \cdot 48 = 144 \text{ год}$$

$$t_{\text{роб}} = (365 - 30) \cdot 24 - 384 - 144 = 7512 \text{ год}$$

$$Z_{\text{ел}} = 36 \cdot 7512 \cdot 6,9 = 1\,865\,981 \text{ грн}$$

Затрати на виплату заробітної плати складають:

$$Z_{\text{зп}} = \Phi_{\text{опл}} + \Phi_{\text{від}} \quad (5.11)$$

де  $\Phi_{\text{опл}}$  – фонд для здійснення оплати праці;

$\Phi_{\text{від}}$  – різноманітні відрахування в фонди;

$$\Phi_{\text{опл}} = (3P_{\text{опер}} + 3P_{\text{роз}} + 3P_{\text{слюс}}) \cdot K \quad (5.12)$$

де  $ЗП_{\text{опер}}$ ,  $ЗП_{\text{роз}}$ ,  $ЗП_{\text{слюс}}$  – заробітна плата, що отримують відповідно оператори, розкладчики та слюсарі електромонтери;

$K$  – коефіцієнт що враховує районування виконання робіт.

$$ЗП_{\text{опер}} = 3 \cdot 11000 \cdot 12 = 396000 \text{грн}$$

$$ЗП_{\text{слюс}} = 9500 \cdot 12 = 114000 \text{грн}$$

$$ЗП_{\text{роз}} = 15 \cdot 2 \cdot 4320 \cdot 2 = 259200 \text{грн}$$

$$\Phi_{\text{опл}} = (396000 + 114000 + 259200) \cdot 1,2 = 923040 \text{грн}$$

$$\Phi_{\text{від}} = 923040 \cdot 0,262 = 241836 \text{грн}$$

$$З_{\text{зп}} = 923040 + 241836 = 1164876 \text{грн}$$

Затрати на організацію охорони праці складають:

$$З_{\text{оп}} = \Phi_{\text{опл}} \cdot K_{\text{оп}} \quad (5.13)$$

де  $K_{\text{оп}}$  – коефіцієнт відрахувань на заходи з охорони праці, 33 %.

$$З_{\text{оп}} = 923040 \cdot 0,33 = 304603 \text{грн}$$

Величина інших витрат складає 5,5 % від  $\Phi_{\text{опл}}$ :

$$З_{\text{ін}} = \Phi_{\text{опл}} \cdot K_{\text{ін}} \quad (5.14)$$

$$З_{\text{ін}} = 923040 \cdot 0,055 = 50767 \text{грн}$$

$$\begin{aligned} З &= 15150000 + 293573 + 118827 + 1865981 + 1164876 + 304603 \\ &+ 50767 = 18948627 \text{грн} \end{aligned}$$

Визначення вартості сушіння  $1 \text{ м}^3$  зернової маси:

$$Ц_0 = C \cdot (1 + P_{\text{п}}) \quad (5.15)$$

де  $C$  – величина собівартості виконання сушіння  $1 \text{ м}^3$ ;

$P_{\Pi}$  – запланована рентабельність, %.

$$C = \frac{3}{0} \quad (5.16)$$

$$C = \frac{18948627}{4320} = 4386 \text{ грн/м}^3$$

$$C_0 = 4386 \cdot (1 + 0,25) = 5483 \text{ грн/м}^3$$

Знаходимо величину балансового прибутку:

$$\Pi_6 = (C_0 - C) \cdot O \quad (5.17)$$

$$\Pi_6 = (5483 - 4386) \cdot 4320 = 4739040 \text{ грн}$$

Знаходимо величину рівня рентабельності виробництва:

$$P_p = \frac{\Pi_6}{C \cdot O} 100 \quad (5.18)$$

$$P_p = \frac{4739040}{4386 \cdot 4320} 100 = 25\%$$

Знаходимо термін окупності по капіталовкладенням:

$$T = \frac{K}{\Pi_6} \quad (5.18)$$

$$T = \frac{2329950}{4739040} = 0,5 \text{ року}$$

Всі отримані данні для полегшення аналізу пропонується звести в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічного обґрунтування

Показник	Значення
1	2
Величина капіталовкладень, грн	2329950

1	2
Річні експлуатаційні витрати на проведення сушіння зернової маси, грн	18948627
Вартість сушіння 1 м <sup>3</sup> зернової маси, грн/м <sup>3</sup>	5483
Величина балансового прибутку, грн	4739040
Величина рівня рентабельності виробництва, %	25
Термін окупності по капіталовкладенням, років	0,5

### **Висновок до розділу**

Виходячи з проведеної економічної оцінки запропонованих рішень по автоматизації процесу сушіння зернової маси, можна зробити висновок, що дана пропозиція є економічно вигідною з рівнем рентабельності 25 % та терміном окупності 0,5 року.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Аналіз технологій сушіння та особливостей вимог до обробки зернових мас показує, що найбільш кращим методом для проведення дослідження по автоматизації процесу сушіння є обробка його електромагнітним полем НВЧ, що дозволяє виконати одночасний обробіток від основних шкідників, мікроорганізмів та патогенів. Необхідною умовою проведення автоматизації є розуміння основною конструкції сушарок, що використовують даний метод та визначення параметрів контролю для виконання якісного процесу моделювання автоматизації процесів.

2. Велика кількість зерносушарок та їх будови потребує комплексного підходу до процесу сушіння зернової маси. Основною проблемою процесу автоматизації є вибір технології сушіння, що є прогресивною та потребує подальшої розробки. Для виконання процесу сушіння зернової маси нами обрано технологію з НВЧ, що має певний ряд переваг. При цьому необхідно зазначити, що для реалізації процесу сушіння є потреба в аналізі основних конструкцій зерносушарок на основі яких виконується моделювання основних процесів з вказанням контрольних параметрів. Запропонована математична модель має на меті керування зерносушаркою однаково ефективно, як в напіваавтоматичному так і в автоматичному режимі роботи.

3. Проведене моделювання системи автоматизації зерносушарок дає можливість дослідити ефективність та якість виконання процесу сушки зерна. При цьому комп'ютерне моделювання процесу сушки зерна показує, що за умови зміни параметрів інтервалу часової оцінки можна виконати сушку зернової маси більш якісно. Необхідно зазначити, що при цьому спостерігається певна перевитрата палива для процесу сушіння та зниження продуктивності сушарки в цілому.

4. Виконання всіх заходів з охорони праці дає можливість уникнути виникнення травмонебезпечних ситуацій та летальних випадків. Наведені основні небезпечні фактори дають можливість аналізу та забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту. При цьому

відсутність випадків травмування та нещасних випадків позитивно впливає на організацію праці на підприємстві та зменшує витрати на їх відшкодування.

5. Виходячи з проведеної економічної оцінки запропонованих рішень по автоматизації процесу сушіння зернової маси, можна зробити висновок, що дана пропозиція є економічно вигідною з рівнем рентабельності 25 % та терміном окупності 0,5 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хобін В.А, Бабіков А.Ю. Дослідження систем гарантує управління екстремальними нестационарними об'єктами з обмеженнями / Зб. наук. пр. Кіровоград. держ. техн. універ. - Кіровоград, 2002. - Вип. 11. - С. 54-57
2. Малин Н.І. Енергосберегаюча сушка зерна! Малин Н.І. - М. Колос, 2004. - 238 с.
3. Андріанов Н.М. Дослідження шахтної зерносушарки як об'єкта управління. Успіхи сучасного природознавства. 2004. № 9. - С. 86-91.
4. Ralf Joost and Ralf Salomon. «Advantages of fpga-based multiprocessor systems in industrial applications». In 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2005). IEEE-I ECON, November 2016.
5. Kholiddinov I. Kh, Musinova Gulasalkhon, Yulchiev M.E., et al. Modeling of calculation of voltage unbalance factor using Simulink (Matlab) // The American Journal of Engineering And Techonology. 2020. V.2. № 10. pp. 33-37.
6. Попова І.О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі: автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 "Електротехнології та електрообладнання в агропромисловому комплексі" / І. О. Попова. – Мелітополь, 2003. – 20 с.
7. Калінова. П. Математичні моделі для дослідження впливу конструктивних несиметрій електричних машин на їх електромагнітні параметри/ Калінова. П., МамчурД. Г. // ВісникКДПУ. НауковіпраціКДПУ. – Вип. 3(44). – Ч. 2. - Кременчук: КДПУ, 2007. – С. 150–154
8. Гераскін О. А. Вібродіагностика ушкоджень роторів потужних асинхронних двигунів на основі польових математичних моделей: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.01 / НАН України, Ін-т електродинаміки. – К., 2012. – 18 с.
9. Somka O, M. Zagirnyak, V. Prus. Reliability Models of Electric Machines with Structural Defects Proceedigs 2015 16th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPPE–2015, – Lviv, Ukraine, 2015. – p. 249-251.

10. Сьомка О. О. Розробка методів дослідження та прогнозування показників надійності асинхронних двигунів XV Міжнародна науково-технічна конференція “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”: Матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2016. – С. 164-165.

11. Somka O., M. Zagirnyak, V. Prus, The methods for accounting the degree of electric machines aging in the assessment of their reliability 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, Ukraine, 2019. – P.194-197

12. Billinton and Ronald N. Allan, “Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques”, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin 181 (Germany), 2008. – 342 p.

13. Matlab, Getting Started Guide, R2011b. The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098, USA, 276 p.

14. Сьомка О. О., В. В. Прус Комп’ютеризований діагностичний комплекс для випробувань електричних машин на надійність Науковопрактичний журнал «Електротехніка і електромеханіка» – Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2015. – Вип. 3/2015 – Ст. 27–30.

15. M. Zagirnyak, V. Prus, Siomka O. Electric machine reliability prediction models taking into account the state of major structural components Proceedings of the abstracts the 15th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE–2014, – Terchova – Vratna dolina, Slovak Republic, 2014. – P. 57

16. O. Somka, V. Prus, A. Nikitina Somka O. The determination of the condition of the windings of electric machines with long mean-time-between failures 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) – Kremenchuk, 2017. – P. 164-167.

17. M. Zagirnyak, A. Kalinov, and Zh. Romashykhina, “Decomposition of electromotive force signal of stator winding in induction motor at diagnostics of the rotor broken bars”, Scientific Bulletin of National Mining University, issue 4(154), 2016, pp. 54–61.

18. В. В. Прус, Сьомка О. О. Зміна властивостей електротехнічної сталі під впливом теплових та механічних факторів / Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 8-9 квітня 2015 р. – Кременчук, КрНУ, 2015. – С. 229-230.

19. Somka O. The use of the thermal image control in the current monitoring of electric machines / M. Zagirnyak, V. Prus, O. Somka // Book of digests the 7th Symposium on Applied Electromagnetics SAEM'2018. – Podčetrtek, Slovenia, 2018. – P. 9–10

20. Somka O. The ways for the improvement of the information value of the thermal image control of electric machines with long mean time between failures / M. Zagirnyak, V. Prus, O. Somka // Przegląd Elektrotechniczny, 2019, R. 95 № 5 P. 63–66 (Польща)

21. Fedorov M. M. The improvement of the methods for forecasting the thermal state of alternating current electric motors in the unsteady conditions of their operation / Doctor's thesis in specialty 05.09.01 – Electric machines and devices, Kharkiv, NTU KhPI, (2003). – 36 p.

22. Hamid A. Toliyat, Subhasis Nandi, Seungdeog Choi, Homayoun Meshgin-Kelk, Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault 185 Diagnosis, London-New York: CRC Press, 2012.

## ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Технічні характеристики сушильної камери

№ з/п	Найменування параметру	Значення
1	Теплове навантаження на 1м <sup>3</sup> зерна при нагріванні при виході на режим, кВт	1,0-4,0
2	Електричне навантаження споживана потужність встановлена потужність, кВт	36
3	Швидкість сушіння від вологості 50% і більше для твердих порід (усереднена), мм/доб	1-2
4	Діапазон робочих температур, °С	35-70
5	Електроживлення обладнання сушильної камери, В (Гц)	380 (50)
6	Габаритні розміри сушильної камери (внутрішні) довжина ширина висота, м	8,2
7	Разове завантаження зерна, м <sup>3</sup>	100
8	Вартість сушильної камери з вентиляторами, з автоматикою, грн	1 585 000