

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики  
(повна назва кафедри)

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:

«Енергозбереження в колонкових зерносушарках та критерії  
оцінювання їх ефективності»

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-24м  
спеціальності 144 – Теплоенергетика  
(шифр і назва спеціальності)

Котюжанський Я.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ

Співак О. Ю.  
(прізвище та ініціали)

«08» грудня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. БМГА

Христич О.В.  
(прізвище та ініціали)

«15» грудня 2025 р.

Допущено до захисту  
Зав. кафедри ТЕ



к.т.н., доц. Степанов Д. В.  
(прізвище та ініціали)

«19» грудня 2025 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
Кафедра теплоенергетики  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань 14 – Електрична інженерія  
Спеціальність 144 - Теплоенергетика  
Освітньо-професійна програма Теплоенергетика

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ТЕ**

**Степанов Д. В.**

25.09

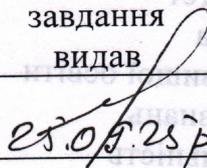
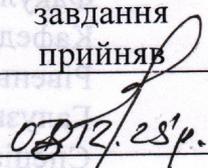
2025 року

## **ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Котюжанському Ярославу Івановичу**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

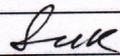
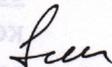
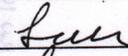
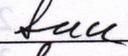
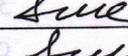
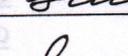
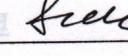
1. Тема роботи «Енергозбереження в колонкових зерносушарках та критерії оцінювання їх ефективності»  
керівник роботи Співак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент  
затверджені наказом ректора вищого навчального закладу від 24.09.2025 р., № 313
2. Строк подання студентом роботи 08.12.25 року.
3. Вхідні дані для роботи: температура свіжого повітря  $t_0 = 10\text{ }^\circ\text{C}$ ; вологість свіжого повітря  $\varphi_0 = 75\%$ ; температура сушіння  $t'_1 = 110\text{ }^\circ\text{C}$ ; вологість вихідного сушильного агента  $\varphi_2 = 50\%$ ; видатність сушарки  $G = 16\text{ т/год}$ ; початкова вологість зерна  $\omega'_1 = 22\%$ ; температура зерна після сушіння  $\vartheta'_1 = 30\text{ }^\circ\text{C}$ ; кінцева вологість зерна після охолодження  $\omega_3 = 14\%$ ; робоче паливо – мазут М100 з Кременчуцького НПЗ.
4. Зміст текстової частини: аналіз літературних джерел, постановка задач дослідження, математична модель, результати числового експерименту та їх обговорення, технологічна частина, економічна частина, висновки, перелік посилань, додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): сушарка колонкова; план сушильного цеху; схема монтажна аксонометрична; календарний план монтажу; розріз А-А; схема автоматизації колонкової зерносушарки «СЗ-16ПМВ» функціональна; графічні залежності.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Співак О. Ю., доцент кафедри ТЕ	 25.09.25р.	 08.12.25р.
Економічна частина	Лялюк О. Г., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 25.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Аналіз літературних джерел.	05.10.2025	
Математичне моделювання процесу підготовки теплоносія	15.10.2025	
Робота з математичною моделлю. Числові дослідження	25.10.2025	
Обробка отриманих результатів	05.11.2025	
Модернізація схеми автоматизації сушарки	15.11.2025	
Технологія монтажу обладнання для модернізації	25.11.2025	
Економічна частина	05.12.2025	
Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	08.12.2025	

Студент

(підпис)

Котюжанський Я.І.

Керівник роботи

(підпис)

Співак О.Ю.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.33

Котюжанський Я.І. Енергозбереження в колонкових зерносушарках та критерії оцінювання їх ефективності. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – «Теплоенергетика», освітня програма - теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 97 с.

Бібліогр.: 49 назв; рис.: 12; табл. 16.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено шляхи підвищення енергоефективності колонкової сушарки для сушіння зернових культур та розглянуто питання зі збереження енергії в них.

Розроблено математичну модель топки колонкової сушарки і досліджено придатність різних видів альтернативного твердого палива для сушіння.

В технологічній частині МКР розроблено технологію монтажних робіт для встановлення теплообмінників щоб підігрівати сушильний агент відхідними газами з топки сушарки та збірки циклонів для очищення відпрацьованого теплоносія від пилу.

Складено календарний план робіт і графіки руху машин і механізмів. здійснено економічне обґрунтування монтажних робіт.

Розроблено модернізовану схему автоматизації колонкової сушарки в якій використано сучасну елементну базу.

Ілюстративна частина складається з 10 креслень і плакатів із результатами моделювання та теоретичних досліджень.

Ключові слова: сушіння, колонкова сушарка, рекуперація, сушіння зерна.

## **ABSTRACT**

Kotyuzhansky Ya.I. Energy saving in column grain dryers and criteria for assessing their effectiveness Master's qualification work in specialty 144 - "Heat energy", educational program - heat energy. Vinnytsia: VNTU, 2025. 97 p.

Bibliography: 49 titles; Fig.: 12; Table. 16.

The master's qualification work investigated ways to increase the energy efficiency of a column dryer for drying grain crops and examined the issue of energy conservation in them.

A mathematical model of the column dryer furnace was developed and the suitability of various types of alternative solid fuels for drying was investigated.

In the technological part of the MKW, a technology for installation work was developed for installing heat exchangers to heat the drying agent with waste gases from the dryer furnace and cleaning the spent coolant from dust.

A work schedule and schedules of movement of machines and mechanisms have been drawn up. An economic justification of installation works has been carried out.

A modernized automation scheme for a column dryer has been developed, which uses a modern element base.

The illustrative part consists of 10 drawings and posters with the results of modeling and theoretical research.

Keywords: drying, column dryer, recovery, grain drying.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>8</b>
1.1 Енергозбереження в сушарках.....	8
1.1.1 Фактори, що впливають на енергоспоживання сушарок.....	9
1.1.2 Методи економії енергії при експлуатації сушарок.....	10
1.1.3 Перспективні розробки в галузі енергозберігаючих сушарок.....	11
1.2 Альтернативне тверде паливо.....	11
1.2.1 Основні джерела альтернативного палива.....	12
1.2.2 Деревні пелети.....	13
1.2.3 Пелети з соняшникового лущиння і макуху.....	14
1.3 Придатність альтернативних викопних видів палива для сушіння.....	16
<b>2 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....</b>	<b>18</b>
2.1 Опис матмоделі.....	18
2.2 Вхідні в топку параметри повітря.....	19
2.3 Параметри теплоносія на виході з сушильної установки.....	21
2.4 Характеристики, що описують сушильний процес.....	22
2.5 Контрольний приклад.....	23
2.5.1 Хімічний склад палива.....	23
2.5.2 Розрахунки параметрів сушильного агента.....	24
<b>3 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ</b> <b>.....</b>	<b>29</b>
<b>4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>32</b>
4.1 Монтаж додаткового обладнання.....	32
4.1.1 Підбір пристрою для видалення запиленого повітря та його очищення.....	32
4.1.2 Розрахунок циклона.....	32
4.1.3 Монтаж теплообмінного обладнання.....	37
4.1.4 Підбір обладнання.....	38
4.1.5 Склад та об'єм робіт.....	44
4.1.6 Витрата на електроенергію та паливо.....	45
4.1.7 Трудомісткість виконання монтажних робіт і визначення складу бригади .....	46
4.1.8 Підготовчі роботи до монтажу.....	50
4.1.9 Здавання систем до експлуатації.....	51
4.1.10 Техніка безпеки під час виконання робіт з монтажу.....	52
4.2 Заходи для модернізації автоматизації сушарки.....	56
4.2.1 Опис об'єкту автоматизації.....	58

4.2.2 Системи автоматичного регулювання (САР) параметрів .....	60
4.2.3 САР витрат теплоносія для сушки .....	63
4.2.4 САР готовності висушеного зерна .....	64
4.2.5 Технологічний захист .....	66
4.2.6 Технологічний контроль та сигналізація.....	67
4.2.7 Розрахунки регулюючих органів.....	70
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>77</b>
5.1 Кошторисна вартість матеріалів.....	77
5.2 Показники комерційної ефективності проєкту .....	83
5.3 Оцінювання економічної ефективності інноваційного проєкту .....	83
5.4 Чиста поточна вартість .....	84
5.5 Термін окупності інвестицій.....	84
5.5.1 Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом .....	84
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>87</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>89</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>94</b>
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	95
Додаток Б (обов'язковий) ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ .....	96
Додаток В (довідниковий) ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ .....	101
Додаток Г (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	107

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Одним з найважливіших завдань, що забезпечують сталий розвиток країни та її продовольчу безпеку є збільшення виробництва зерна та скорочення втрат на всіх стадіях його виробництва. Це завдання має вирішуватися не лише шляхом збільшення валового збору, а й покращенням якості післязбиральної обробки, оскільки якість зерна – другий урожай. Більше половини зібраного врожаю залишається в сільському господарстві, тому особливе значення має сушіння, яке є найбільш складним питанням у післязбиральній обробці зерна для зон підвищеного зволоження [1].

Воно дозволяє не тільки зберегти величезний об'єм продукції, але при правильній організації та виборі режимів підвищити якість висушеного зернового матеріалу.

Проте в даний час за наявності великої (але далеко не достатньої) кількості зерносушарок (значна частина яких застаріла як фізично, так і морально) на сільськогосподарських підприємствах з різними формами власності їх експлуатація часто не відповідає оптимальним режимам, через що витрата палива стає вище, а продуктивність сушарок нижчою за паспортні. Не задовольняються також і інші цільові функціонали процесу сушіння – якісні характеристики зерна на виході сушарок не завжди задовольняють агротехнічні вимоги для шахтних, барабанних та інших типів зерносушарок. У великому діапазоні змінюються значення критеріїв ефективності процесу сушіння зерна: за витратами теплоти на випаровування умовної кількості вологи та питомою витратою умовного палива на планову тонну не тільки для зерносушарок різних типів, а й для одного типу [2].

Тому **актуальним** питанням є виконання як теоретичних, так і прикладних досліджень як для зменшення енергоспоживання зерносушарок різних типів, так і для здешевлення процесу сушіння в них сировини, що досягається економією енергії та використанням більш дешевих, найчастіше місцевих видів палива.

**Мета дослідження :** розроблення енергозберігаючих заходів для сушіння зернових в колонкових сушарках і здешевлення процесу сушіння методом переведення сушильної техніки на альтернативний вид місцевого палива.

Для досягнення поставленої мети було розв'язано такі **завдання:**

- проведено пошук та здійснити аналіз літературних джерел для визначення шляхів досягнення мети;
- розроблено математичну модель і виконано числові дослідження для аналізу ефективності використання різних видів альтернативного твердого біопалива;
- визначено необхідні заходи для зниження собівартості сушіння, виконано розрахунки і підбір необхідного обладнання.

**Об'єкт дослідження :** тепломасообмінні процеси в сушарках для зернових культур.

**Предмет дослідження :** колонкова зерносушарка.

**Методи дослідження.** Застосовано комплексні методи. Дослідження здійснено як емпіричним так і теоретичним способами: математичне моделювання, числові дослідження, аналіз, спостереження, синтез.

**Новизна одержаних результатів.**

Числові методи оптимізації використання енергоресурсів в зерносушарках отримали подальший розвиток.

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі і синтезі патентних та літературних джерел, роботі з матмоделлю та числових експериментах, розрахунках і виборі допоміжного обладнання.

**Апробація результатів МКР:** результати роботи доповідалися на 2 науково-технічних конференціях: НТКП ВНТУ–2025 і Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України 2025».

**Публікації:**

Котюжанський Я. І., Молочнюк А. В., Співак О. Ю. Вплив теплопровідних містків на температуру внутрішньої поверхні каркасних будівель. В «Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного

технічного університету (НТКП ВНТУ–2025) : збірник доповідей [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2025. С. 1926-1930 [3].

Співак О. Ю., Таранюк К. Ю., Котюжанський Я. І. Визначення швидкості теплоносія в сушарці з псевдозрідженим шаром числовим методом. В «Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України 2025»». URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26407/21756> Дата звернення 20.11.2025 [4].

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 1.1 Енергозбереження в сушарках

Технічні способи та конструкція сушильних установок, що використовуються у сучасному зерносушінні є досить різноманітними [5,6]. Сушіння займає важливе місце в процесі післязбиральної обробки зерна, оскільки воно, за дотримання належних правил, забезпечує якісні показники та можливість тривалого зберігання; крім того, є одним з найбільш енергоємних технологічних процесів в системі виробництва для більшості зерновиробних регіонів України.

В даний час для сушіння зерна все більше застосування знаходять або невеликі мобільні зерносушарки, які перевозяться у вантажівці або контейнері, або колонкові зерносушарки, в яких внутрішній та зовнішній циліндри мають перфоровану поверхню. Зерно за допомогою завантажувального та рециркуляційних шнеків (або норії) подається в бункер, де воно якийсь час продувається нагрітим повітрям, потім зерно перемішується і знову подається за допомогою рециркуляційного шнека в бункер. У цих зерносушарках немає тепло-вологообмінника, де відбувається відлежування зерна та тепловологообмін між зернами.

Сушарка “СЗ-16ПМВ ” призначена для сушіння різноманітної сільськогосподарської зернової і насінневої сировини. Стабільну і високу якість готового продукту з різнорідної сировини, можна досягти автоматичним підтриманням оптимальних температурно-вологісних режимів сушіння і це є головним завданням автоматизації сушильного процесу.

В модельний ряд колонкових зерносушарок входять моделі СТ-10, СЗ-16, СЗ-25, СЗТ-30, СЗТ-12, СЗТ-8, СЗТ-2,5, СЗТ-5, які відрізняються розмірами, масою, зерновий ємністю і, відповідно, продуктивністю. Всі вони є стаціонарними, автоматизованими зерносушарки колонкового типу безперервної дії з електричним приводом. Такі зерносушарки відрізняються хорошою експлуатаційною надійністю, зручністю управління і високою безпекою [7]. Колонкові

зерносушарки складаються з сушильної камери, завантажувального пристрою, котрий розташовано над сушильною камерою, каналів підведення теплоносія, інверторів з площадками обслуговування, топкового блоку з нагнітальними вентиляторами сушіння, які забезпечують охолодження матеріалу, розвантажувального пристрою, електрообладнання та системи зернопідводів. Сушильна камера має дві колонки, між якими розташовано об'єм замкнутого простору.

Основними заходами, які б забезпечували підвищення енергоефективності жалюзійних і колонкових сушарок є інтенсифікація сушильних процесів в них яка дає підвищення продуктивності в зерносушарках на 50-70% якщо сушать олійне насіння і зерно колосових культур через те, що застосовуються комбіновані методи енергопідводу. Підвищення продуктивності в подальшому, як правило, буде обмежено можливостями транспортного обладнання [5].

Відчутно підвищує тепловий ККД сушарки використання сучасних температурно-вологісних сушильних режимів [7]. Досягти зниження питомих витрат паливних ресурсів на сушіння на 17-25% можна тільки за рахунок цих операцій і якщо замінити контроль температур теплоносія з вхідного на вихідний по зонах (в залежності які параметри зернової культури і яке атмосферне повітря). За умов використання інших енергозберігаючих чинників, перш за все теплоти відпрацьованого теплоносія, економія палива складе вже 35-40% [5], а це призведе до зниження питомих енерговитрат в пропорції до підвищення продуктивності зерносушарок, так як за спрощених схем енергопідводу вони є рівними, оскільки нема при збільшеній продуктивності додаткових енерговитрат;

Впливають на ефективність роботи і збільшення швидкості руху зерна в шахтах в 1,5-2 рази, рівномірності сушіння й охолодження зерна, підвищення експлуатаційної надійності, пожежної безпеки [5].

#### 1.1.1 Фактори, що впливають на енергоспоживання сушарок

Аналіз літературних джерел [5,6,14] дозволив визначити такі основні фактори, що впливають на енергоспоживання сушарок:

- тип сушарки (шахтна, барабанна, мобільна, стаціонарна);
- початкова вологість зерна;
- температурний режим сушіння;
- якість теплоізоляції сушильної камери;
- ефективність рекуперації теплоти;
- використання автоматизованих систем керування.

Сучасні технології дозволяють оптимізувати енергоспоживання і значно знизити енерговитрати при сушінні зерна. Розглянемо найефективніші з них:

- рекуперація теплоти: система, що дозволяє повторно використовувати тепло відпрацьованого повітря. Це знижує споживання енергії на 15–30%;
- теплові насоси: пристрої, що переносять теплоту з навколишнього середовища до сушильної камери, це є особливо ефективним в умовах помірному клімату;
- інфрачервоні та кондуктивні сушарки: альтернативні методи сушіння, що вимагають менше енергії, ніж традиційні конвективні системи;
- використання альтернативних джерел енергії: сонячні колектори та біогазові установки можуть частково чи повністю замінити традиційні енергоносії;
- застосування місцевих твердих видів палива, таких як солома, костриця, відходи деревини, пелети з них дозволяють хоч і не зменшити енергоспоживання, зате здешевити сам процес сушіння.

### 1.1.2 Методи економії енергії при експлуатації сушарок

Крім технологічних рішень, існують практичні методи зниження енергоспоживання:

- регулярне обслуговування обладнання (очищення теплообмінників, перевірка вентиляції);
- оптимізація завантаження зерна (рівномірне розподілення для кращої тепловіддачі);
- використання датчиків вологості та температури для точного контролю процесу сушіння;

- застосування багатоступінчастого сушіння (поступове зниження вологості з мінімальними енерговитратами).
- використання сучасних засобів автоматизації.

Сучасні системи автоматичного керування сушарками дозволяють:

- динамічно регулювати температуру та швидкість подачі повітря залежно від вологості зерна;
- мінімізувати пересушування, яке призводить до зайвих енерговитрат;
- забезпечувати рівномірне сушіння по всьому об'єму камери;
- фіксувати та аналізувати дані для подальшої оптимізації процесів.

### 1.1.3 Перспективні розробки в галузі енергозберігаючих сушарок

В останні роки активно розробляються нові технології, серед яких:

- гібридні сушарки, що поєднують декілька методів нагрівання;
- використання штучного інтелекту для прогнозування оптимальних режимів сушіння;
- нанотехнологічні теплоізоляційні матеріали, що знижують втрати теплоти;
- модульні сушильні системи дозволяють масштабувати енергоспоживання залежно від обсягів зерна.

## 1.2 Альтернативне тверде паливо

Подорожчанням природного газу як для підприємств, що переробляють продукцію, так і для населення викликає зростаючий інтерес до альтернативних видів палива, особливо з врахуванням декількох важливих процесів: – виснаження ресурсів природного викопного палива, бажання знизити витрату грошей на теплопостачання та прагнення до використання відновлюваних джерел енергії.

Альтернативне біопаливо є набагато дешевшим від викопних палив (нафта, мазути, газ і вугілля), воно є в наявності завжди, але потрібне врахування того, що сам процес спалювання таких палив і отримання тепла технологічно є значно

складнішим, чим використання природних видів, особливо газу, потрібні значні працевзатрати (ручна праця) і необхідно значно частіше обслуговувати систему підготовки гарячого теплоносія (очищувати теплообмінні поверхні від сажі і нагару, потрібен майданчик щоб зберігати паливо, утилізація попелу, хоча останнє завдання є найпростішим, оскільки продукти згорання твердого біопалива це гарне добриво) [8-13].

### 1.2.1 Основні джерела альтернативного палива

Це, як правило, відходи деревообробки. Відходами деревообробки є тріска, стружка, тирса, обрізь, та інші частини цільних дерев, що не застосовують в інших виробничих галузях та дрова. Переваги таких палив – якісний обігрів, вигідна ціна, практично повна відсутність в продуктах згорання сірки та азоту, низький рівень утворення попелу. Дрібнофракційні відходи деревної промисловості добре «співіснують» з лініями автоматичного подавання палива, це є одним з ідеальних варіантів при автономній роботі твердопаливної котельні.

Головна перевага використання "вирощених палив", як противага "викопним паливам" (вугіллю, природному газу і нафті) є те, що коли енергетичний ліс дерев зростає, відбувається адсорбція вуглекислого газу (важливого парникового газу), який вивільняється при його горінні пізніше. Тобто, що при наступному спалюванні вирощеної спеціально деревини до атмосфери викидають тільки той  $\text{CO}_2$ , який був асимільований деревами коли вони зростали. В той же час, при спалюванні викопного палива, ми збільшуємо атмосферний вуглець, використовуючи той, який був накопичений і утворений за мільйони років, а це є головною причиною теперішнього глобального потепління. Як цінне поновлюване енергетичне джерело деревне паливо є перспективним і стає усе більш важливим і тепер і в майбутньому. Наприклад, вже тепер, найбільша європейська теплоелектростанція використовуюча деревину платана, знаходиться в Зіммеринзі (Австрія). Вона має встановлену потужність до 66 МВт, а щорічно вона споживає 190 тисяч тонн платана, які вирощений в радіусі до 100 км. В Німеччині

також, видатність спеціального енергетичного лісу сягає 20 млн. куб. деревини за рік. [6].

### 1.2.2 Деревні пелети

Деревні пелети, які ще називають паливними гранулами мають три основні види свого походження:

- пелети вищого ґатунку, виготовлені з чистої деревини.
- пелети виготовлені з відходів деревообробки;
- агропелети – виготовлені з відходів аграрного виробництва;

Висока тепловіддача (до 4,7 кВт/кг), зручна фасовка, порівняно вигідна ціна, легке зберігання, використання в системах з автоматичною подачею палива, екологічна безпека є основними перевагами пелет. Як недоліки можна рахувати використання пелет виключно з піролізними котлами що мають автоматичне завантаження палива.

Виявлені переваги дозволяють мати наступні технічні результати при використанні деревних гранул:

- отримати пальне із низькою вологістю і зольністю;
- високою теплотворною здатністю.

Результати деяких досліджень[8,9] показують, що в 20 разів менше золи утворюється при згоранні пелет ніж при згоранні вугілля.

Крім того паливні гранули мають вищу щільність в порівнянні з деревом за рахунок пресування. Перевірка даного факту дуже проста. Як відомо, деревина у воді не тоне, а плаває на поверхні, в той же час пелетні гранули йдуть на дно. Цим також можна пояснити, чому менший об'єм гранульованого палива дає значно більше теплоти при згоранні, ніж деревина.

Фактично, пелети це горюче паливо, яке починає набирати значну популярність під час енергетичної кризи. Низька вартість, висока безпека палива, і інші переваги є особливостями цього виду палива. Потреба в пелетах все більша бо їх потребують альтернативні опалювальні системи. Опалювання приміщень

пелетами, які спалюються спеціальними котлами є найбільш популярним вживанням сьогодні для даної продукції [11].

### 1.2.3 Пелети з соняшникового лушпиння і макуху

Вибір на користь пелет з соняшникового лушпиння і макуху клієнти в побутовому та промисловому використанні роблять все частіше. Звернути увагу на біопаливо змушує вичерпування традиційних енергоресурсів, біопаливо є доступним по нижчих цінах, а також його використання позитивно впливає на екологічні фактори. З доступних варіантів для широкого використання найкращим є паливо, що виготовлене з відходів олійної промисловості в сільському господарстві. Саме такі варіанти вихідних матеріалів мають низку плюсів та переваг і підходять у використанні з комерційною метою, вони практично не вимагають участі користувачами котлів і, не вимагають спеціальних навичок при спалюванні.

Позитивні ефекти, якщо використовувати лушпиння з соняшника як паливу сировину:

– тривалість горіння і тління є достатньою для обігрівання приміщень всього за одну закладку. Це дозволяє мінімізувати роботу користувачів в процесі спалювання, заощадити їх витрачені зусилля і час. Процес завантаження палива в агрегат є швидким, і відбувається без додаткових видів обладнання. За одну закладку лушпиння соняшника у твердопаливний котел він горить приблизно 120-130 хвилин. Більш точну цифру можна назвати, якщо знати вид обладнання, застосовувати брикети або пелети. Після цього паливо переходить до процесу тління з активної фази. Цей процес може тривати до 6-8 годин, при цьому і в першій, і в другій фазі віддається теплота. Особливо зручна така тривалість горіння в зимову пору року, тому що таким біопаливом досить завантажити котел один раз в день – і при цьому можна отримувати теплоту всю добу. Для порівняння: якщо спалити аналогічну масу дров час горіння може становити не більше 5,5-6 години. Торф'яні та деревні брикети також поступляться за якістю. Фактично, використання соняшникового лушпиння дозволить значно підвищити ККД

обігрівання приміщень та зросте пауза проміж закладками палива;

– висока теплотворна здатність матеріалу. В даному аспекті соняшникові біопелети та соняшникові брикети перевершать і деревні пелети і чисті дрова у кілька раз. Теплотворна здатність дров і пелет з них становить 2,4-2,8 тисячі ккал/кг. А соняшникові пелети можуть виділяти до 5 тис. ккал/кг. Разом з тим, об'єми витраченої біопродукції будуть значно нижчими. Соняшник по кількості виділеної теплоти можна рівняти з кам'яним вугіллям, але соняшникові пелети не роблять негативного впливу на навколишнє середовище і не виникає значний об'єм вуглекислого газу, який здатен завдавати шкоду, і здоров'ю людей при спалюванні;

– відсоток зольності соняшникового лушпиння є найнижчим посеред інших видів альтернативних біопалив, також попіл використовується згодом як добриво. Це вказує про кількість попелу, який би залишився в обладнанні після спалювання палива. Чим є він нижчим, тим меншим відсотком буде кількість відходів від процесу спалювання, що отримає користувач. Тому він матиме змогу очищати котел від забруднення тим рідше. Оскільки високі рівні попелу в котлах знижують коефіцієнт корисної дії, необхідно регулярно проводити чищення, незалежно від виду використаного палива [10].

Якщо спалити один кілограм лушпиння з соняшника золи залишається розміром з дві столових ложки. Складає він близько 3 відсотків. Це є найменшим показником зольності посеред всіх видів біопалив, що існують та використовуються на сьогодні. Необхідно відзначити також і корисні властивості безпосередньо попелу. Після спалювання його можна буде використати в якості добрива ґрунту. Досить ґрунт посипати отриманими відходами;

– соняшникове лушпиння можна застосовувати для спалювання в тих твердопаливних котлах, які раніше працювали на дровах;

– соняшникове лушпиння – чистий продукт: для закладання не потрібно надягати рукавиці. Для завантаження твердопаливних котлів кам'яним вугіллям, оскільки воно бруднить руки, необхідно використати спеціальні рукавички.

Використання дров також вимагає застосування додаткових захисних обладнань, бо можна загнати скабку. Виключно зручні у використанні і соняшникові пелети. Для застосування ж соняшnikової пелети досить просто засипати її до необхідного відсіку безпосередньо з упаковок. Це займає мінімум зусиль та часу. Все це роблять, навіть не переодягаючись в робочу одягу. Все достатньо просто, швидко, та чисто;

– безпека для навколишнього середовища та його екологічна чистота. Все більш і більш актуальною у всьому світі стає проблема збільшення викидів вуглекислого газу в атмосферу. Використання соняшnikового лушпиння як альтернативного джерела отримання енергії дозволяє знизити збільшення вуглекислого газу CO<sub>2</sub> за рахунок правильного його спалювання. Крім того, цей матеріал при згорянні виділяє в повітря ту ж кількість вуглекислого газу скільки споживає при виростанні. На відміну від традиційних палив, які виділяють вуглекислого газу в рази більше. Соняшnikове лушпиння є зручним і практичним варіантом, що не завдає шкоди життю та здоров'ю людини і навколишньому середовищу. Майбутнє енергоспоживання і в побуті, і в промисловості, саме за такими ресурсами.

### 1.3 Придатність альтернативних викопних видів палива для сушіння

Корисні копалини, такі як: торф; вугілля; і мазут, який отримують після крекінгу нафти не втрачають своєї популярності.

Кам'яне вугілля є найпопулярнішим викопним видом палива. Його використовують як у малих, так і в промислово великих масштабах. Це відбувається через його високий рівень теплотворення та невисоку ціну. Вугілля дрібної фракції (у вигляді пилу) можна використовувати, змішуючи його з газом, в системах автоматичної паливоподачі. Та потрібно пам'ятати, що вугілля є видом палива, що досить небезпечно для екології. Під час його згорання велика кількість вуглекислого газу потрапляє в атмосферу [12].

Висновки до Розділу 1.

Основним правилом для переходу на альтернативні види палива є наявність сучасного котельного обладнання, яке б максимально використовувало паливні ресурси щоб отримати необхідну кількість енергії.

Разом з тим, при підборі твердого біопалива необхідно провести відповідні розрахунки для визначення економічної ефективності того чи іншого виду палива у випадку використання.

Досить зручно це робити методами математичного моделювання, склавши відповідну математичну модель і реалізувавши її у вигляді прикладної програми.

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Для числового дослідження і розрахунків є доцільним складання математичної моделі процесу спалювання різних палив та визначення економічної привабливості використання тих видів палив з переліку, що заданий в індивідуальному завданні.

### 2.1 Опис матмоделі

Матмодель містить 26 нелінійних та лінійних рівнянь. Модель є статичною, детермінована, одновимірна відносно розмірності простору, структурно-функціональна, відносно зміни параметрів – дискретна. Критерієм оптимізації є годинна вартість роботи сушарки та об'єм витраченого палива на одиницю висушеного зерна.

Нижча теплота згоряння палива  $\left( \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right)$

$$Q_H^p = Q_B^p - 2,5 \left( \frac{9H^p + W^p}{100} \right). \quad (2.1)$$

Вища теплота згоряння палива,  $\left( \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right)$

$$Q_B^p = 0,339C^p + 1,25H^p - 0,109(O^p - S^p). \quad (2.2)$$

Питома теоретична кількість повітря

$$L_0 = 0,115C^p + 0,345H^p - 0,043(O^p - S^p), \left( \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right) \quad (2.3)$$

Ентальпія водяної пари в теплоносієві на вході і виході,  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$

$$h_{\text{п}} = 2500 + 1,84t, \quad (2.4)$$

Кількість випаруваної вологи,  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right)$

$$W = G_1 \frac{w_{\text{п}} - w_{\text{к}}}{100 - w_{\text{к}}}, \quad (2.5)$$

де  $G_1$  – витрати сировини на вході в сушарку, кг/с;

$w_{\text{п}}$ ,  $w_{\text{к}}$  – початкова і кінцева вологість сировини відповідно.

## 2.2 Вхідні в топку параметри повітря

Тиск насичення повітря навколишнього середовища, (Па)

$$P_{\text{н}} = \exp\left(\frac{1500,3 + 23,5 \cdot t_0}{234 + t_0}\right), \quad (2.6)$$

де  $t_0$  – температура навколишнього повітря на вході °С.

Парціальний тиск у вхідному повітрі водяної пари, (Па)

$$P_{\text{п}} = \varphi_0 \cdot P_{\text{н}}, \quad (2.7)$$

де  $\varphi_0$  – відносна вологість навколишнього повітря, %

Вологовміст повітря на вході,  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}}\right)$

$$d_0 = 622 \cdot \frac{P_{\text{п}}}{101325 - P_{\text{п}}}. \quad (2.8)$$

Теплота пароутворення,  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$

$$r_0 = -2,362 \cdot t_0 + 2501. \quad (2.9)$$

Ентальпія вхідного повітря,  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$

$$h_0 = C_{p_{\text{п}}} \cdot t_0 + (r + C_{p_{\text{п}}} \cdot t_0) \cdot d_0, \quad (2.10)$$

де  $C_{p_{\text{п}}}$  – теплоємність повітря на вході,  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}\right)$ .

Коефіцієнт надлишку повітря на вході

$$\alpha = \frac{Q_{\text{в}}^{\text{п}} \cdot \eta_{\text{т}} + C_{p_{\text{т}}} t_{\text{т}} - \left(\frac{9H^{\text{п}} + W^{\text{п}}}{100}\right) h_{\text{п}}'' - \left(1 - \frac{9H^{\text{п}} + W^{\text{п}} + A^{\text{п}}}{100}\right) \cdot C_{p_{\text{са}}} \cdot t_{\text{са}}}{L_0 \left(\frac{d_0 \cdot h_{\text{п}}}{1000} - h_0 + C_{p_{\text{са}}} \cdot t_{\text{са}}\right)}, \quad (2.11)$$

де  $t_{\text{т}}$  – температура палива, °С;

$\eta_{\text{т}}$  – к.к.д. топки;

$C_{p_{\text{са}}}$  – теплоємність теплоносія, кДж/(кг·К);

$C_{p_{\text{т}}}$  – теплоємність палива, кДж/(кг·К);

$t_{\text{са}}$  – температура теплоносія на вході в сушарку, °С;

Вологовміст теплоносія на вході

$$d = \frac{10(9H^{\text{п}} + W^{\text{п}}) + \alpha L_0 d_0}{\alpha L_0 + \left(1 - \frac{9H^{\text{п}} + W^{\text{п}} + A^{\text{п}}}{100}\right)}, \quad (2.12)$$

### 2.3 Параметри теплоносія на виході з сушильної установки

Теплоту пароутворення визначимо так,  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$

$$r_1 = -2,362 \cdot t_1 + 2501, \quad (2.13)$$

де  $t_1$  – температура відпрацьованого теплоносія, °С.

Тиск насичення відпрацьованого теплоносія, (Па)

$$P_n = \exp\left(\frac{1500,3 + 23,5 \cdot t_1}{234 + t_1}\right), \quad (2.14)$$

Парціальний тиск водяної пари на виході, (Па)

$$P_{n1} = \varphi_1 \cdot P_n, \quad (2.15)$$

де  $\varphi_1$  – відносна вологість теплоносія на виході, %

Вологовміст теплоносія на виході,  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}}\right)$

$$d_1 = 622 \cdot \frac{P_{n1}}{101325 - P_{n1}}. \quad (2.16)$$

Ентальпія вихідного теплоносія,  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$

$$h_1 = C_{p_{ca}} \cdot t_1 + (r + C_{p_{ca}} \cdot t_1) \cdot d_1, \quad (2.17)$$

де  $C_{p_{ca}}$  – теплоємність теплоносія на виході,  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}\right)$ .

## 2.4 Характеристики, що описують сушильний процес

Питома витрата повітря на сушіння,  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}}\right)$

$$\ell = \frac{1}{d_1 - d_0}. \quad (2.18)$$

Витрата теплоти (питома),  $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$

$$q = \frac{h_1 - h_0}{d_1 - d_0}. \quad (2.19)$$

Загальна витрата повітря, (кг/с)

$$L = W \cdot \ell. \quad (2.20)$$

Теплова потужність в теоретичній сушарці, (кВт)

$$Q_T = W \cdot q. \quad (2.21)$$

Необхідна теплота, якщо врахувати ККД топки

$$Q_d = Q_T \cdot \eta_{\text{топ}}. \quad (2.22)$$

Теплота на випаровування вологи (корисна, (кВт)

$$Q_k = W \cdot r_1. \quad (2.23)$$

ККД сушарки

$$\eta = \frac{Q_k}{Q_1} 100\%. \quad (2.24)$$

Витрата палива в сушарці, (кг/с)

$$B = \frac{Q_1}{Q_n^p}. \quad (2.25)$$

Годинні затрати на паливо в сушарці, (грн/год)

$$Z_{\text{год}} = C_{\text{пал}} \cdot B \cdot 3600, \quad (2.26)$$

де  $C_{\text{пал}}$  – ціна одиниці палива (кілограма), грн.

## 2.5 Контрольний приклад

### 2.5.1 Хімічний склад палива

Хімічний склад палива показаний в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Робочі характеристики палива

Параметр, %	Мазут М100 [13]	Вугілля [12]	Пелети з деревної тирси [11]	Лушпиння соняшника[10]
$C^p$	84,0	74	48,08	42,5
$H^p$	10,1	4,4	5,7	4,9
$O^p$	1,1	5,1	38,96	34,6
$N^p$	0,8	2,7	0,21	0,4
$S^p$	0,9	3,1	0,04	0,2
$W^p$	3,0	8,0	6,82	15
$A^p$	0,1	4,8	0,19	2,4

## 2.5.2 Розрахунки параметрів сушильного агента

Початкові дані представлені в завданні роботи.

### 2.5.2.1 Характеристики топкових газів

Елементарний склад палива, % за [13]:

W <sup>p</sup> , %	A <sup>p</sup> , %	S <sup>p</sup> , %	C <sup>p</sup> , %	H <sup>p</sup> , %	N <sup>p</sup> , %	O <sup>p</sup> , %	Сума, %
3,0	0,1	0,9	84	10,1	0,8	1,1	100

Нижча теплота згорання, за (2.1)

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 41,2 - 2,5 \left( \frac{9 \cdot 10,1 + 3}{100} \right) = 38,7 \left( \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Вища теплота згорання, за (2.2)

$$Q_{\text{в}}^{\text{p}} = 0,339 \cdot 84 + 1,257 \cdot 10,1 - 0,109 \cdot (1,1 - 0,9) = 41,08 \left( \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \right).$$

Питома теоретична кількість повітря, за (2.3)

$$L_0 = 0,115 \cdot 84 + 0,345 \cdot 10,1 - 0,043(1,1 - 0,9) = 13,1 \left( \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right).$$

Ентальпія водяної пари в теплоносієві, за (2.4)

– на вході в підігрівник

$$h'_{\text{п}} = 2500 + 1,84 \cdot 18 = 2533 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right);$$

– на вході в колонки

$$h'' = 2500 + 1,84 \cdot 175 = 2822 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Випарувана волога, за (2.5)

$$W = \frac{32000}{3600} \frac{51 - 4}{100 - 4} = 4,35 \left( \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

### 2.5.2.2 Характеристики свіжого повітря

Тиск насичення, визначаємо за (2.6)

$$P_n = \exp \left( \frac{1500,3 + 23,5 \cdot 18}{234 + 18} \right) = 2063 \text{ (Па)}.$$

Парціальний тиск водяної пари, за (2.7)

$$P_n = 0,75 \cdot 2063 = 1548 \text{ (Па)}.$$

Вологовміст повітря навколишнього середовища, за (2.8)

$$d_0 = 622 \cdot \frac{1548}{101325 - 1548} = 9,6 \left( \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right).$$

Теплота пароутворення, за (2.9)

$$r_0 = -2,362 \cdot 18 + 2501 = 2458 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Ентальпія вхідного повітря, за (2.10)

$$h_0 = 1,005 \cdot 18 + (2458 + 1,005 \cdot 18) \cdot 0,0096 = 42 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Коефіцієнт надлишку вхідного повітря, за (2.11)

$$\alpha' = \frac{41200 \cdot 0,9 + 2,2 \cdot 18 - \left( \frac{9 \cdot 10,1 + 3,0}{100} \right) \cdot 2822 - \left( \frac{9 \cdot 10,1 + 3,0 + 0,1}{100} \right) \cdot 1 \cdot 175}{12,94 \left( \frac{9,6 \cdot 2822}{1000} - 24,4 + 1 \cdot 175 \right)} = 26,4.$$

### 2.5.2.3 Характеристики теплоносія на вході в колонки

Вологовміст вхідного теплоносія, за (2.12)

$$d_1 = \frac{10 \cdot (9 \cdot 10,1 + 3,0) + 26,4 \cdot 12,94 \cdot 9,6}{26,4 \cdot 12,94 + \left( 1 - \frac{9 \cdot 10,1 + 3,0 + 0,1}{100} \right)} = 13,48 \left( \frac{\text{Г}}{\text{КГ}} \right).$$

Тиск насичення, за (2.6)

$$P_n = \exp \left( \frac{1500,3 + 23,5 \cdot 175}{234 + 175} \right) = 9118 \text{ (Па)}.$$

Парціальний тиск водяної пари на вході в робочу камеру, за (2.7)

$$P_n = 0,2 \cdot 2063 = 3647 \text{ (Па)}.$$

Теплота пароутворення, за (2.9)

$$r_1 = -2,362 \cdot 175 + 2501 = 2300 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{КГ}} \right).$$

Ентальпія вхідного теплоносія, за (2.10)

$$h_1 = 1,005 \cdot 175 + (2458 + 1,005 \cdot 175) \cdot 0,013 = 216 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{КГ}} \right).$$

Вологовміст відпрацьованого теплоносія, за (2.8)

$$d_2 = 622 \cdot \frac{7295}{101325 - 7295} = 48 \left( \frac{\text{КГ}}{\text{КГ}} \right).$$

#### 2.5.2.4 Параметри сушильного процесу

Витрата повітря, за (2.18)

$$\ell = \frac{1000}{48 - 9,6} = 28,76 \left( \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right).$$

Повна секундна витрата повітря, за (2.19)

$$L = 4,35 \cdot 28,76 = 125 \text{ (кг/с)}$$

Витрати теплоти, за (2.20)

$$q = \frac{216 - 42}{48 - 9,6} \cdot 1000 = 5004 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Теплова потужність в теоретичній сушарці, за (2.21)

$$Q_t = 0,435 \cdot 5004 = 2177 \text{ (кВт)}.$$

Теплота, якщо врахувати ККД топки, за (2.22)

$$Q_d = 2177 / 0,88 = 2481 \text{ (кВт)}.$$

Теплота на випаровування вологи (корисна), за (2.23)

$$Q_k = 0,435 \cdot 2300 = 1001 \text{ (кВт)}.$$

ККД сушарки, за (2.24)

$$\eta = \frac{1001}{2481} 100\% = 40,347\%.$$

Витрата палива, за (2.25)

$$B = \frac{2481}{38732} = 0,0641 \text{ (кг/с)}.$$

Ціни на мазут марки М100, станом на 01.11.2025 р

$C_{\text{пал}} = 18500$  грн/тонна [6].

Годинні витрати на паливо, за (2.26)

$$Z_{\text{год}} = 18000 \cdot 0,064 \cdot 3600 = 4151 \text{ (грн/год)}.$$

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Програма, яка реалізує математичну модель для розрахунку можливих варіантів вибору різних видів палива для колонкових сушарок подано в Додатку В, тому тут представлено тільки результати у вигляді графічних залежностей.

На рис. 3.1 представлено зміну коефіцієнтів корисної дії для колонкової сушарки коли її топка працює з різними видами палив. Найбільший коефіцієнт корисної дії буде при роботі на вугіллі, а найменший при роботі на мазуті. ККД за спалювання лушпиння соняшника чи пелет з нього і ялинових пелет ККД знаходиться на рівні 41,5%, тобто є приблизно однаковим.

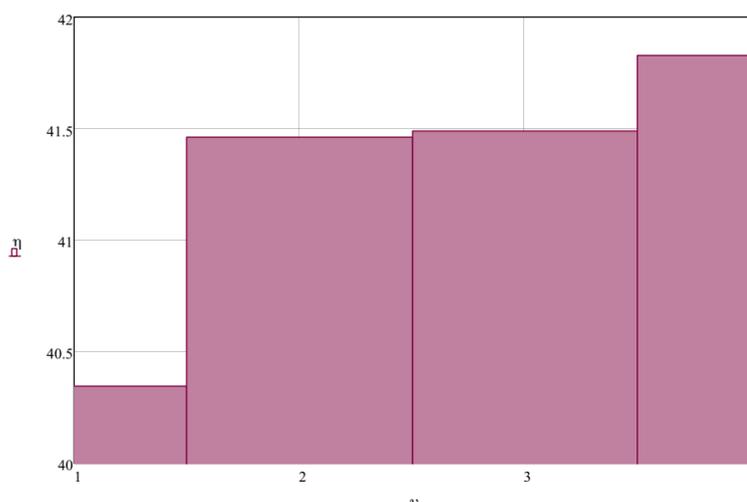


Рисунок 3.1 – Коефіцієнт корисної дії для колонкових сушарок якщо вони працюють на різних видах палива

1 – мазут; 2 – соняшникове лушпиння,

3 – пелети з деревної тирси, 4 – кам'яне довгополуменеве вугілля

На рис. 3.2 представлено витрату різних видів палива при роботі сушарки. Найбільшою витратою палива характеризується лушпиння соняшника, а найменшою – мазут.

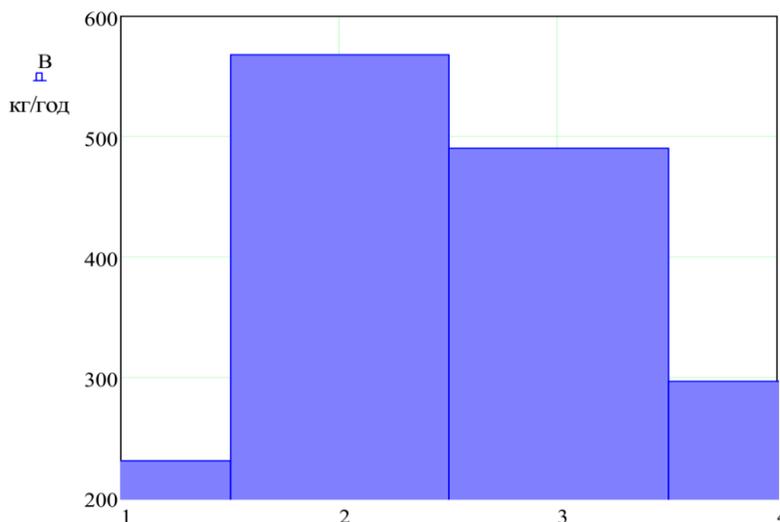


Рисунок 3.2 – Витрата палива при роботі колонкової сушарки на різних його видах

1 – мазут М100; 2 – соняшникове лушпиння,  
3 – деревні пелети, 4 – кам'яне вугілля

Рис. 3.3 показує годинну вартість роботи колонкової сушарки для різних видів палив. Найбільша вартість роботи на мазуті. Найменша – при спалюванні соняшникового лушпиння. Ціни на паливо беремо з мережі Інтернет станом на 01.11.2025 року.

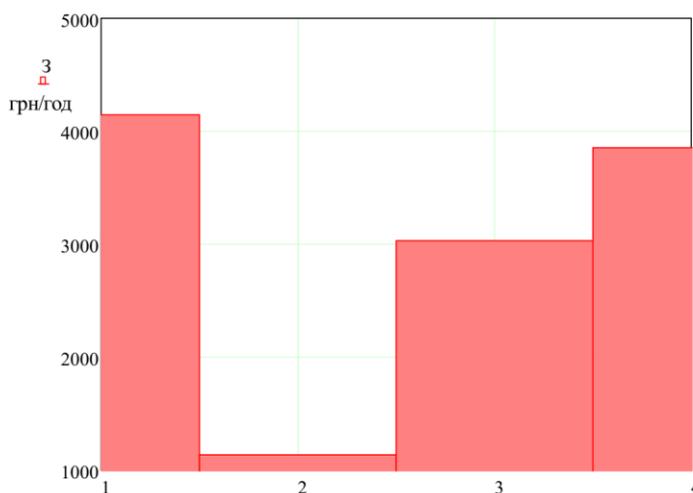


Рисунок 3.3 – Годинна вартість роботи колонкової сушарки

1 – мазут М100; 2 – соняшникове лушпиння,  
3 – деревні пелети, 4 – кам'яне вугілля

Потрібно зауважити той факт що розрахунок витрат на паливо вартість підігріву мазуту М100 перед поступанням його до топки не враховувалась. Не враховані затрати ручної праці щоб завантажувати пелети, соняшникове лушпиння

або вугілля до топки. Затрати по встановленню відповідних пальників для спалювання твердого шматкового палива і монтаж господарства для підігріву мазуту також не враховувались.

### Висновки до Розділу 3

Складено математичну модель для аналізу придатності заданих в індивідуальному завданні видів палив, як відновлювального альтернативного (соняшникове лушпиння та деревні пелети), так і традиційного (мазут і вугілля).

Розрахунок показує, що коефіцієнти корисної дії колонкових сушарок для вибраних видів палива практично сталі і коливаються в межах 41...43 %.

Витрата різних палив складає : для соняшnikового лушпиння 0,158 кг/с, для вугілля 0,082 кг/с, для пелет 0,136 кг/с і для мазуту 0,064 кг/с.

Самим дорогим для роботи сушарки паливом виявився мазут M100 з годинною вартістю роботи 4150 грн/год., найбільш вигідним стало соняшникове лушпиння (1136 грн/год).

Якщо в регіоні є достатня кількість соняшnikового лушпиння, в якості палива його можна впевнено рекомендувати.

## 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Монтаж додаткового обладнання

#### 4.1.1 Підбір пристрою для видалення запиленого повітря та його очищення

##### 4.1.1.1 Вибір дуттєвого пристрою

Зернова маса на сушіння подається норією у першу сушилну зону. Через засміченість зерна насінням бур'янів теплоносій, який виходить з сушарки має значну кількість насіння бур'янів, пилу тощо. Тому є доцільною операцією очистка відпрацьованого теплоносія після сушарки. Винесення відпрацьованим теплоносієм пилу із робочої камери передбачається виконувати вентилятором ВР 80-75, № 12,5 [15]. Видатність такого вентилятора становить 71400 м<sup>3</sup>/год, що повністю задовольняє потреби першої зони (вони становлять 70869 м<sup>3</sup>/год).

Потужність електродвигуна

$$N = \frac{1,1 \cdot V \cdot H}{102 \cdot 3600 \cdot \eta_b \cdot \eta_m}, \quad (4.1)$$

$$N = \frac{1,1 \cdot 71400 \cdot 154}{102 \cdot 3600 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 29,8 \text{ кВт.}$$

Беремо для встановлення електродвигун АИР235М8, N = 30 кВт, з числом обертів n = 750 об/хв з приводом через клинопасову передачу [17].

Шків вентилятора d=315 мм, шків електродвигуна d=260 мм. Клинові ремені типу Г-4560, 4 штуки на встановлення.

Аеродинамічна характеристика вентилятора ВР 80-75, № 12,5 [15].

$$H = 1154 \text{ Па, } V = 71400 \text{ м}^3/\text{год, } n = 750 \text{ об/хв.}$$

Маса з двигуном АИР225М8 – 856 кг.

#### 4.1.2 Розрахунок циклона

Вихідні дані:

Об'ємна витрата свіжого повітря на вході в охолодну камеру 6240 м<sup>3</sup>/год. Приймаємо, що в шахті сушарки присоси відсутні, тому витрата повітря на виході рівна витраті на вході.

За робочих умов, кількість повітря для очищення  $V=70869$  м<sup>3</sup>/год.

Оптимальна швидкість сушильного агента в апараті  $\omega_{\text{опт}}=4$  м/с [18].

Необхідна площа перерізу циклона

$$F = \frac{V}{3600 \cdot \omega_{\text{опт}}}, \quad (4.2)$$

$$F = \frac{70869}{3600 \cdot 4} = 5,62 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Діаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot N}}, \quad (4.3)$$

де  $N$  – кількість циклонів.

Беремо кількість циклонів  $N = 6$ .

$$D = \sqrt{\frac{5,62}{0,785 \cdot 6}} = 1,009 \approx 1 \text{ (м)}.$$

Стандартні габарити циклона ЦН-15:  $D = 1000$  мм [19].

Реальна швидкість газу в циклоні

$$\omega = \frac{V}{0,785 \cdot N \cdot D^2}, \quad (4.4)$$

$$\omega = \frac{79869}{3600 \cdot 0,785 \cdot 6 \cdot 1^2} = 4,1 \text{ (м/с)}.$$

Перевірка

$$\frac{\omega_{\text{опт}} - \omega}{\omega_{\text{опт}}} \cdot 100\% = \frac{4 - 4,1}{4} \cdot 100\% = 2,5\%.$$

Оскільки відхил реальної швидкості в циклоні вв порівнянні з оптимальною менший 15%, то можна не робити перерахунок.

Для встановлення приймаємо збірку зі стандартних циклонів ЦН-15-1000 [18].

Коефіцієнт гідравлічного опору циклона

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{800}^{\text{ц}} + K_3, \quad (4.5)$$

де  $\zeta_{800}^{\text{ц}}$  – є коефіцієнтом гідравлічного опору одиночного циклона, приймаємо  $\zeta_{800}^{\text{ц}} = 1150$  [5];

$K_1$  – коефіцієнт поправки на діаметр циклона,  $K_1 = 1$ ;

$K_2$  – коефіцієнт поправки на запиленість газу,  $K_2 = 0,93$ ;

$K_3$  – коефіцієнт поправки, враховуючий додаткову втрату тиску,  $K_3 = 0$ .

$$\zeta_{\text{ц}} = 1 \cdot 0,93 \cdot 1150 + 0 = 1070.$$

З паспорта сушарки [14]:

– температура сушильного агента на виході  $t' = 120$  °С;

– вологість відпрацьованого теплоносія  $\varphi = 30\%$ .

Тиск насичення

$$P_{\text{н}} = e^{\left(\frac{1500,3+23,5 \cdot t'}{234+t'}\right)}, \quad (4.6)$$

$$P_{\text{н}} = e^{\left(\frac{1500,3+23,5 \cdot 120}{234+120}\right)} = 1,996 \cdot 10^4 \text{ (Па)}.$$

Парціальний тиск водяної пари

$$P_{\text{п}} = \varphi \cdot P_{\text{н}}, \quad (4.7)$$

$$P_{\pi} = 0,3 \cdot 1,996 \cdot 10^4 = 5,989 \cdot 10^3 \text{ (Па)}.$$

Вологовміст відпрацьованого теплоносія

$$d = 622 \frac{P_{\pi}}{101325 - P_{\pi}}, \quad (4.8)$$

$$d = 622 \frac{5989}{101325 - 5989} = 0,063 \left( \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right) = 63 \left( \frac{\text{г}}{\text{кг}} \right),$$

Густина сухого повітря

$$\rho_{\text{пв}} = \frac{P}{RT}, \quad (4.9)$$

$$\rho_{\text{пв}} = \frac{100000}{287 \cdot (120 + 273)} = 0,886 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Густина відпрацьованого сушильного агента

$$\rho_{\text{вп}} = \frac{1 + d}{1 + 1,61d}, \quad (4.10)$$

$$\rho_{\text{вп}} = 0,886 \frac{1 + 0,063}{1 + 1,61 \cdot 0,063} = 0,855 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right),$$

Втрати тиску в циклоні

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (4.11)$$

$$\Delta P = 1070 \cdot \frac{0,855 \cdot 3,45^2}{2} = 5444,5 \text{ (Па)}.$$

Шлях, який проходить в циклоні газовий потік

$$L = 2 \cdot (\pi \cdot D) = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,0 = 6,28 \text{ (м)}.$$

Швидкість у вхідному патрубку

$$v_{\text{окр}} = \frac{V}{N \cdot b \cdot a}, \quad (4.12)$$

де  $b = 0,374$  – ширина вхідного патрубка, м [18];

$a = 0,934$  – висота вхідного патрубка, м [18].

$$v_{\text{окр}} = \frac{79869}{4 \cdot 3600 \cdot 0,374 \cdot 0,934} = 14,19 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Швидкість осадження часток

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{вп}}) \cdot v_{\text{окр}}^2}{g \cdot \mu_{\text{вх}} \cdot D}, \quad (4.13)$$

де  $\rho_{\text{ч}}$  – густина пилових часток,  $\text{кг/м}^3$ , приймаємо  $1045 \text{ кг/м}^3$  [19];

$\mu_{\text{вх}}$  – в'язкість вхідного повітря,  $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$d_{\text{ч}}$  – умовний діаметр осаджуваних часток, приймаємо  $d_{\text{ч}} = 41 \cdot 10^{-5} \text{ м}$  [19].

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{(41 \cdot 10^{-5})^2 \cdot (1045 - 0,855) \cdot 14,19^2}{9,81 \cdot 21,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8} = 1,98 \text{ (м/с)}.$$

Час перебування частинок в циклоні (мінімальний)

$$\tau = \frac{L}{\omega_{\text{ос}}}, \quad (4.14)$$

$$\tau = \frac{5,0}{1,98} = 2,5 \text{ (с)}.$$

### 4.1.3 Монтаж теплообмінного обладнання

#### 4.1.3.1 Аналіз об'єкта монтажу

В цьому розділі магістерської роботи розробляється технологія монтажу розбірного пластинчастого теплообмінного апарата для підігрівання холодного повітря відхідним вологим теплоносієм з топки колонкової зерносушарки.

Джерело нагрітого теплоносія – рідкопаливна топка, яка працює на мазуті М100. В якості палива можна застосувати гас, або пічне паливо – гас змішують з мазутом. Продукти згорання таких палив направляти в камеру, щоб сушити харчові продукти, якими є всі види зернових, які сушать в колонкових сушарках, не можна через їх невисоку екологічну чистоту. Тому ми пропонуємо здійснювати рекуперацію теплоти, яку мають відхідні гарячі гази з топки через газоповітряний теплообмінник і цією теплотою підігрівати свіжий теплоносії. Відхідні гази надходять до теплообмінника де рухаються між пластинами перехресним током з свіжим повітрям де передають теплоту до повітря.

До об'єму монтажу при модернізації сушарки входять монтаж пластинчастого компактного розбірного теплообмінника типу газ-газ та повітропроводів його обв'язки разом з необхідною арматурою [16].

Компактний пластинчастий газоповітряний теплообмінник має масу 1200 кг і потужність 1890 кВт.

Метою даного розділу МКР є розробка технології монтажу газоповітряного теплообмінника, масою 1200 кг в теплову схему колонкової зерносушарки разом з нагнітальним відцентровим вентилятором ВР 80-75 №12, масою 856 кг.

Завдання для досягнення мети:

- вибрати необхідні матеріали і необхідне обладнання щоб змонтувати ТА;
- визначити об'єм, склад і трудомісткість монтажної роботи.

#### 4.1.3.2 Опис необхідних видів робіт

Монтажні роботи з встановлення теплообмінника починають з установа опорних металоконструкцій на фундамент. Конструкції мають вертикальні

стійки з опорами, стійки з'єднані в конструкцію швелерами і кутниками. Перед монтажем пластинчастого теплообмінника необхідна перевірка щільності завальцювання країв листів, для перевірки його по черзі по секційно кладуть на стіл, або на якусь рівну поверхню для огляду і перевіряють якість вальцювання візуально. Якщо виявлені пошкодження секцію можна ущільнити герметизуючою мастикою додатково або замінити новою. Секції оглядають з обох боків перевертаючи на другу сторону.

Якщо секції цілі, їх вставляють в рамну конструкцію, яка виготовлена з кутників, змінюючи при цьому напрямок гофрованих листів на  $90^\circ$  в кожному ряду. Кути секцій потрібно ущільнити силіконом або герметиком.

Для пластинчастих секцій термін служби становить не менше як 10 років активної експлуатації. При штатному обслуговування, або у випадку аварійного засмічення його можна розібрати, промити і зібрати на протязі 4-6 годин. Незначність осаду на поверхнях теплообміну в таких ТА досягають через високу турбулентність потоку теплоносія, що виникає при проходженні теплоносія і псвіжого повітря через канали в ТА, утворені гофрами. Термін роботи такого компактного газоповітряного теплообмінного апарату 20 – 25 років. Якщо необхідно замінити ущільнення пластин, то вартість їх замінювання знаходиться в межах 10 – 15 % від вартості самого теплообмінника. Вартість монтажних робіт при його встановленні: 12 – 14 % від собівартості.

Для встановлення ТА необхідно виготовити переходи від повітропроводів вентиляторів до ТА та виконати монтаж несучої рами безпосередньо для ТА і закріпити на ній нагнітальний відцентровий вентилятор ВР 80-75 №12.

#### 4.1.4 Підбір обладнання

##### 4.1.4.1 Обладнання і матеріали для монтажу ТА

Щоб встановити теплообмінник необхідні матеріали, які показані в таблиці 4.1 [20].

Таблиця 4.1 – Матеріали для встановлення та обв'язки пластинчастого компактного теплообмінника

№ п.п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
Основні матеріали					
1	Нержавіючої повітропроводи з класом Н що мають фланці та зварні стики з умовним тиском до 2,5 МПа, змонтовані з готових вузлів, діаметром 500×0,7 мм.	м <sup>2</sup>	56,48	6,4	361
2	Теплообмінник компактний пластинчастий типу ВВ – 1,9	шт	1	1200	1200
3	Шибери ножеві Ду 500РУ10 СМО (Іспанія)	шт	4	174	696
4	Трійник для вентиляції за ДСТУ EN 12599:2006	шт	1	4,08	4,08
5	Відвід 90° 500×1 для вентиляції за ДСТУ EN 12599:2006	шт	6	4,71	28,26
6	Вентилятор нагнітальний ВЦ 4-75 №4 в зборі, з віброопорами і вставкою гнучкою	шт	1	57	57
7	Циліндри базальтові кашированні алюмінієвою фольгою. ГОСТ 23208-83	м <sup>2</sup>	23	5,15	118,45
Матеріали допоміжні					
8	Шнур з азбесту типу [ШАОН-1] діаметр 8 мм.	т	0,00084		1,82
9	Гумовий технічні морозостійкі прокладки	кг	7,58		16,5
10	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,011		23,9
12	Електроди для зварювання, d = 4 мм.	т	0,00039		8,5
13	Нетвердіюча герметизуюча мастика "Gilan"	т	0,00513		11,1

Маса матеріалів загальна 2221,5 кг.

Для монтажу вентиляторів з теплообмінником використана несуча конструкція (металева монтажна рама), її масу також потрібно враховувати при транспортуванні. Таку раму виготовляють з мірного прокату (швелерів і кутників), їх маса та сортамент подані в табл. 4.3.

#### 4.1.4.2 Вибір матеріалів та обладнання для монтажу вентилятора

Для монтажу вентилятора обладнання подано в таблиці 4.2 [15, 20].

Таблиця 4.2 – Матеріали для монтажу вентилятора

№ п.п.	Назва матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
Основні матеріали					
1	Вентилятор відцентровий ВР 80-75 №12, з електродвигуном	шт	1	856	856
2	Вставка гнучка 500×500×300 мм	шт	1	12	12
3	Перехід 925Ø500 мм	шт	1	19	19
4	Віброопори ДО-43	шт	6	2,5	15
Допоміжні матеріали					
2	Анкерні болти	т	0,0014		5,6
3	Будівельні болти з шайбами та гайками	т	0,0016		6,2

Загальна маса матеріалів для монтажу вентилятора – 913,8 кг.

Таблиця 4.3 – Довжина і маса сортового прокату для рами

№ п.п.	Найменування прокату	Одиниці вимірювання	Довжина, м	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	Швелер 14У ДСТУ 3436-9	м	6,2	6	12,3	457
2	Швелер 10У ДСТУ 3436-9	м	5	14	8,59	515,4
3	Кутник 75×75×6 ДСТУ 3436-9	м	5	6	6,89	206,7
Допоміжні матеріали						
	Електроди, 4 мм, марки Э55,	т		0,00072		9,4

Маса матеріалів для монтажу рами 1187,5 кг.

Загальна маса матеріалів, що необхідні на встановлення вентиляторів з теплообмінником, рівна 4323 кг.

#### 4.1.4.3 Вибір пристосувань, машин, механізмів

Деталі, конструкції, сортовий прокат та обладнання для модернізації сушарки ввозять автомашиною "Ford Cargo 1826 (E-3)" централізовано [21].

Технічні характеристики автомашини подані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики автомашини Ford Cargo 1826 (Е-3)

Найменування	Одиниця виміру	Величина
1	2	3
Вантажопідйомність	кг	до 10000
Найбільша швидкість	км/год	106
Кількість осей: всього	шт	2
ведучих	шт	1
Маса	кг	8000
Радіус повороту	м	8,4
Вантажна висота	мм	2960
Колія колес: передні	мм	2055
задні	мм	1830
Витрата палива	л/100 км	18
Габарити: Довжина		9300
Ширина		2489
Висота		2190

Для пробивання отворів у стіні використано перфторатори типу «МАКІТА HR 5001С» [22]. Технічні характеристики перфтораторів «МАКІТА HR 5001С» наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики перфтораторів «МАКІТА HR 5001С»

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Потужність електр.	Вт	350
Маса	кг	12,8
Частота удару	Гц	40
Енергія удару	Нм	1,0
Глибина отвору	мм	до 200

Для зварювальних робіт планується застосувати зварювальний апарат

інверторного типу «IGBT Dnipro-M SAB-17DFB» [23].

Технічні характеристики зварювального апарата «IGBT Dnipro-M SAB-17DFB» наведені в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Технічна характеристика зварювального апарата «IGBT Dnipro-M SAB-17DFB»

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Активна потужність	Вт	5100
Діапазон струму	А	20-170
Діаметр електродів (реком)	мм	1,6-5
Типи електродів	-	сталь/чавун/нж
Маса апарата	кг	4,1

Для піднімання теплообмінника, вентилятора і монтажу несучої рами застосовується навантажувач вилковий Toyota 8FGJ35 [24].

Технічні характеристики навантажувача вилкового Toyota 8FGJ35 наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Характеристики навантажувача вилкового Toyota 8FGJ35

Найменування	Одиниця виміру	Величина
1	2	3
Рекомендована вантажопідйомність	кг	3500
Висота підйому	мм	7000
Потужність двигуна	кВт	42
Радіус повороту	м	1,5
Витрати палива	л/100 км	7
Габарити:		
Довжина		2850
Ширина		1290
Висота		2180

Для монтажу використовується набір інструментів, наведений в таблиці 4.8 [20].

Таблиця 4.8 – Набір інструментів для монтажних робіт

Найменування	ДСТУ, марка	Кільк., шт.	Заг. маса, кг
1	2	3	4
Ключі гайкові двосторонні М17х19 мм	ДСТУ ГОСТ 2839-80	6	0,9
М19х22 мм		6	1,2
Комбіновані пассатижі	ДСТУ ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки різні	ДСТУ ГОСТ 5423 - 79	6	0,31
Молотки слюсарні	ДСТУ ГОСТ 2310-77	6	1,8
Зубила слюсарні з довжиною 200 мм	ДСТУ ГОСТ 7211-72	6	2,1
Молотки гумові	-	6	1,9
Вимірювальні стрічки, 20 м	ДСТУ ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Рівні металеві	ДСТУ ГОСТ 7948-80	2	0,22
Ящики для інструменту переносні	-	12	3,2
Разом:			38,65

Витрату допоміжних матеріалів зводимо в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрата матеріалів допоміжних для монтажу теплообмінника з вентилятором

Матеріали	Одиниця виміру	Витрата		
		Шифр	Вага	Об'єм
Гумові прокладки	кг	111-1746	5,45	-
Паронітові прокладки марки ПМБТ, товщиною 1мм	1000	шт.	0,06	-
$\Sigma=5,51$				

Загальна маса матеріалів та інструменту  $4323+4,1+38,65+12,8=4378,55$  кг.

Маса інструменту, що підлягає поверненню на склад 55,55 кг.

#### 4.1.5 Склад та об'єм робіт

##### 4.1.5.1 Склад робіт

1. Привезення деталей на місце монтажу та їх складання.
2. Розмічання місця де встановлюють повітропроводи.
3. Монтаж теплообмінника.
4. Монтаж допоміжного вентилятора.
5. Монтаж батареї циклонів.
6. Прокладка і монтування повітропроводів діаметром 500 мм.
7. Монтаж вентилятора.
8. Встановлення запірної арматури.
9. Ізоляція повітропроводів системи.
10. Перші робочі випробування окремих елементів системи.
11. Перше робоче перевіряння системи в цілому.
12. Остаточне перевіряння систем і здача їх до експлуатації.
13. Повернення на склад залишків матеріалів і допоміжного обладнання.

##### 4.1.5.2 Об'єм робіт

1. Привезення деталей на місце монтажу та їх складання. Одиниці вимірювання в тоннах. Повна маса деталей 4378,55 кг. Беремо об'єм  $V=4,4$ .

2. Розмічання місця прокладки повітропроводів. Одиниця вимірювання 100м. Вся мережа трубопроводу має довжину  $L=35,975$  м. Беремо  $V=0,36$ .

3. Монтажні роботи з теплообмінником. Вимірювання в одиницях. Беремо  $V=1$ .

4. Монтаж допоміжного вентилятора ВЦ 4-75 №4. Вимірювання в одиницях. Беремо  $V=1$ .

5. Монтаж батареї циклонів ЦК-1000-6УП. Вимірювання в одиницях. Беремо  $V=1$ .

6. Монтаж вентилятора ВР 80-75 №12. Вимірювання в одиницях. Беремо  $V=1$  шт.

7. Прокладання повітропроводів що мають діаметр 500 мм. Вимірювання в 100 м<sup>2</sup>. Площа труб діаметрами 500 мм – 46,4 м, беремо  $V=0,464$ .

8. Встановлення трійників. Одиниці вимірювання 100 шт. Беремо  $V=0,01$ .

9. Встановлення відводів. Одиниці вимірювання 100 шт. Беремо  $V=0,06$ .

10. Ізоляція повітропроводів системи. Одиниці вимірювання в 10 м<sup>2</sup>. Загальна площа трубопроводів становить 46,4м. Беремо  $V= 4,64$ .

11. Робоче випробування окремих елементів. Одиниці вимірювання в метрах. Вся довжина зворотних та подаючих трубопроводів становить:  $L=35,975$ м. Отже, беремо  $V= 3,56$  (див.табл.1.1).

12. Робоча перевірка системи в цілому. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина зворотних та подаючих трубопроводів становить: 35,975м. Отже,  $V= 3,56$ .

13. Остаточне перевіряння систем і здавання до експлуатації. Вимірювання в метрах. Вся довжина трубопроводу має : 35,975 м. Беремо  $V= 3,56$ .

14. Повернення залишків матеріалів та обладнання на склад. Вимірювання в тоннах. Загальна маса усіх деталей 55,55 кг. Беремо об'єм  $V=0,055$ .

#### 4.1.6 Витрата на електроенергію та паливо

Витрата електричної енергії на роботу електроприладу

$$E=P \cdot \tau \cdot k, \quad (4.15)$$

де  $P$  – потужність приладів або механізмів, кВт;

$\tau$  – скільки пропрацював прилад, год;

$k$  – коефіцієнт, враховуючий періодичність роботи на електричному обладнанні.

Електроенергія на роботу апарата зварювального «IGBT Dnipro-M SAB-17DFB»:

$$k=0,1 \quad \tau=5 \text{ год}, \quad p=5,1 \text{ (кВт)}; \quad E_1= 5,1 \cdot 5 \cdot 0,1= 2,55 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Електроенергія на роботу перфоратором MAKITA HR 5001C:

$$k=0,1 \quad \tau=10 \text{ год}, \quad p=0,35 \text{ (кВт)}; \quad E_2= 0,35 \cdot 10 \cdot 0,1= 0,35 \text{ (кВт год)}.$$

Деталі, конструкції та матеріали завозять автомобілем Ford Cargo 1826 (Е-3) централізовано. Характеристики автомобіля подані в таблиці 4.4.

Витрати пального для доставляння виробів і матеріалів:

- відстань 27 (км);
- кількість рейсів  $n=2$ ;
- витрати пального  $Q=18$  (л/100км).

Необхідна кількість пального для доставляння

$$Q_{\text{п}}=Q \cdot 2 \cdot n \cdot l=0,18 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 27=19,44 \text{ л.} \quad (4.16)$$

Витрати палива при роботі навантажувача:

- тривалість робіт 7 годин;
- витрата пального  $Q=7$  (л/год).

Потрібна кількість палива

$$Q_{\text{пн}}=Q \cdot \tau=7 \cdot 7=49 \text{ л.} \quad (4.17)$$

4.1.7 Трудомісткість виконання монтажних робіт і визначення складу бригади

#### 4.1.7.1 Склад бригади

Склад бригади та середні розряди робітників при виконанні монтажних робіт визначаються відповідно з нормативними документами.

1. Привезення деталей до місця монтажних робіт та їх складання. Водій і робітник.
2. Розмічання місця прокладки повітропроводів. Два слюсарі-вентиляційники, 3, 4 розрядів.
3. Монтаж теплообмінника. Два слюсарі-монтажники 3,4 розрядів.
4. Монтаж вентилятора ВЦ 4-75, №4. Два монтажники 3 розряду.
5. Монтаж батареї циклонів. Два слюсарі-монтажники 3,4 розрядів.
6. Монтаж вентилятора ВР 80-75, №12. Три монтажники 3,4 розряду.

7. Прокладка повітропроводів з діаметрами 500мм. Два вентиляційники 3, 2 розрядів.
8. Встановлення трійників, заслонок і відводів. Два слюсарі-сантехнік 3,4 розряду.
9. Монтаж теплової ізоляції. Чотири слюсарі-монтажники 3,4 розряду.
10. Робоче випробування окремих частин. Два вентиляційники 5, 3 розрядів.
11. Перевіряння цілої системи. Два вентиляційники 5, 3 розрядів.
12. Остаточне перевіряння систем і здавання до експлуатації. Два вентиляційники 5, 3 розрядів.
12. Привезення допоміжного обладнання до складу і вивантаження. Робітник, водій.

#### 4.1.7.2 Трудоемність монтажних робіт

$$Q = \frac{V \cdot H_{\text{ч}}}{B} \text{ [люд/дні]}, \quad (4.18)$$

де  $V$  – об'єми роботи;

$H_{\text{ч}}$  – часові норми на одиницю виміру, люд/год;

$B$  – кількість годин за зміну, год.

#### 4.1.7.3 Тривалість монтажних робіт

$$T = \frac{Q}{n} \text{ [дні]}, \quad (4.19)$$

де  $Q$  – трудоемність монтажної роботи, люд/дні;

$n$  – число робітників, люд.

Результати розрахунків подані в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Трудоемність виконання монтажної роботи

	Найменування роботи	Од. ви- міру	Об'єм роботи	Но- рма часу, люд/ год.	Трудо- містк люд/ дні	Виконавці		Три- вал., дні
						кіль- кість	склад ланки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Привезення де- талей до місця монтажу та їх складання	т	4,4	3,1	1,7	2	Робітник Водій	0,85
2	Розмітка місць прокладання по- вітропроводів [26]	100м	0,36	1,3	0,06	2	Слюсар 4, 3 розрядів	0,03
3	Монтаж теплообмінника [27]	шт	1	22,64	2,83	2	Слюсар 3,4 розрядів	1,41
4	Монтаж вентилятора ВЦ 4-75 №4 [28]	шт	1	15,91	1,98	2	Монтажник 3,4 розрядів	0,99
5	Монтаж батареї циклонів [29]	шт	1	7,12	0,89	3	Монтажник 3,4 розрядів	0,3
6	Монтаж вентилятора ВР 80-75 №12 [28]	шт	1	25,2	3,15	3	Монтажник 3,4 розря- дів	1,05

Продовження таблиці 4.10								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Прокладання повітропроводів діаметром 500 мм [26]	100 м <sup>2</sup>	0,464	95,78	5,55	2	Слюсар 2, 3 розрядів	1,39
8	Встановлення трійників, заслонок і відводів [26]	100 шт	0,11	12	0,165	2	Слюсар 4, 3 розрядів	0,08
9	Теплова ізоляція повітропроводів [31]	10м <sup>2</sup>	4,64	30,56	17,7	4	Слюсар 2,4 розрядів	4,43
10	Робочі випробування окремих частин [32]	10м	3,56	5,4	2,4	3	Слюсар-вентиляц. 3,5 розрядів	0,8
11	Перевіряння систем в цілому. [33]	10м	3,56	2,9	1,29	2	Слюсар-вентиляц. 3,5 розряду	0,64
12	Остаточне перевіряння систем і здавання до експлуатації.	10м	3,56	2,4	1,06	2	Слюсар-вентиляц. 3,5 розряду	0,53

Продовження таблиці 4.10								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Привезення допоміжного обладнання до складу.	т	0,055	3,1	0,21	2	Робітник Водій	0,1

#### 4.1.8 Підготовчі роботи до монтажу

Перед початком монтажних робіт встановлюють чи готове бетонного покриття під монтаж обладнання, повітропроводів, приладів.

Приймання об'єкту до монтажу системи подавання повітря відбувається за актами встановленої форми, які підписують представники генпідрядника, котрий виконує будівельні роботи (виконроб чи майстер).

Перед початком на об'єкті монтажних робіт, необхідно виконати такі роботи, що фіксується актом:

- змонтувати перекриття і сходові клітини;
- пробити канали для прокладання повітропроводів;
- ізолювати ділянки в місці встановлення теплообмінника і прокладання обв'язки з повітропроводів;
- підготувати монтажну пройму для переміщення великогабаритного обладнання, яке необхідно монтувати;
- на частинах сушарки нанести фарбою відмітки для встановлення обладнання;
- підвести електричні лінії щоб підключити механізми і інструменти;
- забезпечити освітлення місць роботи і доступ до них робітників та можливість доставити матеріали і вироби монтажного обладнання;
- призначити місця де складати матеріали і обладнання.

Не дозволяється виконання монтажних робіт якщо об'єкти будівництва, не прийняті для монтажу.

#### 4.1.9 Здавання систем до експлуатації

Послідовність технологічних операцій при виконанні монтажних робіт.

Монтажні роботи на системі виконати в наступній послідовності:

- розмітити місце де встановлюється обладнання;
- розмітити місце де встановлюються кріплення;
- встановити несучу раму та обладнання.

Монтувати повітропроводи в наступній послідовності:

- розмітка вісей та установка підвісок і кронштейнів;
- прокладання повітропроводів;
- встановлення вузлів і заготовок за наміченими осями;
- приєднання обладнання до них;
- вивірення та установка заданих уклонів;
- закріплення повітропроводів на підвісках і опорах.

На справність арматури та іншого обладнання і пристроїв та на герметичність систему випробовують тільки після того, як виконані всі монтажні роботи. Якщо передбачена теплова ізоляція то випробування на герметичність виконують перед її накладенням і перед фарбуванням. Випробовують повітропроводи за ДСТУ ГОСТ 3845-82 тиском, який повинен перевищувати робочі значення на 0,5 МПа, та не повинен бути більшим 1 МПа протягом 10 хв.; при цьому допускається пониження тиску не більш ніж на 0,1 МПа [33].

Випробування систем оформляються актом. Для прийомки систем до експлуатації готують таку документацію:

- креслення, акти і документи погодження на додаткові роботи і зміни, які допущено при монтажних роботах;
- на приховані роботи мають бути відповідні акти;
- акти на випробування пристроїв, монтажних вузлів, обладнання (окремих елементів) причому мають бути додані усі паспорти;

- акти на випробування герметичності мереж та на ефективну роботу обладнання (баки, насоси, пожежні крани тощо).

Перевіряють під час приймання:

- відповідність монтажу затвердженому проєкту;
- чи міцні кріплення обладнання;
- чи наявні ухили для спорожнення від конденсату повітропроводів;
- чи відсутні витіки повітря в фурнітурі, обладнанні, з'єднаннях;
- чи ефективно вмикається і вимикається обладнання;
- як працює автоматизація.

Якщо виявлено дефекти і неполадки їх потрібно вказати в приймальних актах, відхилення від затверджених проєктів, результат випробування обладнання і в цілому системи, якість виконання роботи, чи наявні недоробки, терміни їх усунення.

Спеціалізовані експлуатаційні організації, спеціалізовані ремонтні цехи, забезпечені необхідними матеріалами, запасними деталями, обладнанням для потреб поточного ремонту внутрішніх санітарно-технічних систем, значно підвищують рівень технічної експлуатації будівель [34].

#### 4.1.10 Техніка безпеки під час виконання робіт з монтажу

##### 4.1.10.1 Загальні положення

При виконанні монтажних робіт необхідно суворо дотримуватися вимог Закону України «Про охорону праці» [35].

У відповідності зі статтею 18 в Законі України "Про охорону праці", працівник повинен «...знати та виконувати вимоги нормативних актів про охорону праці, правила поведіння з машинами, механізмами, обладнанням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту, проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди».

В залежності до конкретних умов організування виробничих процесів, та

у зв'язку з нещасними випадками та допущеними аваріями, в інструкцію можна вносити зміну та доповнення, їх викладають на окремих аркушах і підписують керівники відповідних структурних підрозділів.

Інструкції є обов'язковими для виконання нормативними документами для монтажників систем кондиціонування повітря, вентиляції, аспірації та пневмотранспорту.

До роботи по монтажу систем аспірації, вентиляції, пневмотранспорту, кондиціонування повітря, можуть бути допущені особи старші 18 років, якими пройдено медичний огляд та є придатними, навченими безпечним методам та прийомам робіт, склали екзамен та отримали відповідне посвідчення.

Перевіряють знання монтажників з безпечної роботи щорічно.

Робітники, що працюють на ручних електричних машинах класу II та III, повинні мати з електробезпеки першу групу.

#### 4.1.10.2 Інструктажі з охорони праці для монтажників-вентиляційників

Монтажник-вентиляційник повинен проходити такі інструктажі з охорони праці:

- а) при прийомі на роботу – вступний інструктаж;
- б) на робочому місці – первинний інструктаж;
- в) не рідше одного разу на 3 місяці – повторний інструктаж;
- г) інструктаж позаплановий – у випадку коли порушення вимог безпеки праці призводить чи могло призвести до нещасного випадку чи аварії; якщо змінюється технологічний процес чи чинні нормативні акти про охорону праці; якщо тривалість перерв у роботі по спеціальності понад 60 днів календарних;
- д) інструктаж цільовий - якщо виконуються разові роботи, які не пов'язані безпосередньо з обов'язками по спеціальності, ліквідація стихійного лиха чи аварій, проведення роботи, якій оформлено дозвіл, наряд-допуск, та інші документи.

Монтажник, при отриманні (ЗІЗ) – засобів індивідуального захисту має бути

проінструкований керівником робіт як їх використовувати та доглядати за ними.

Монтаж систем аспірації, вентиляції, кондиціонування повітря, пневмотранспорту допускається тільки якщо об'єкт або окремі ділянки готові до монтажу. Якщо об'єкт до монтажу ІТП готовий то складається акт готовності.

Якщо повітроводи монтуються на висоті то мають встановлюватися риштування, настили з огороженнями або помости, їх забезпечують сходами для піднімання та спускання робітників.

За відсутності настилів з огорожами на висотах обов'язково потрібне застосування перевірених запобіжних поясів. Місця закріплень запобіжних поясів мають бути вказані виконробом або майстром.

В монтажній зоні будівлі по одній вертикалі працювати забороняється, в незалежності від того, скільки перекрить над робочими місцями.

Переміщення та монтаж обладнання має здійснюватися за заздалегідь розробленими технологіями з використанням механізмів.

Усі проходи до робочих місць і самі робочі місця повинні достатньо освітлюватися.

У місцях виконання робіт силові і освітлювальні електролінії повинні знеструмлюватися та надійно огорожуватись.

Технічні стани блоків повітроводів або укрупнених вузлів та обладнання повинні забезпечувати надійний та простий їх підйом, встановлення, закріплення.

Якщо є місце, небезпечне для роботи або проходу людей, воно повинне бути огорожене, мати покажчики та написи, а при виконанні робіт у темні часи доби – позначатися світловим сигналом.

#### 4.1.10.3 Безпека при виконанні робіт

Дозволяється робота лише справними інструментами.

При роботі з ручними інструментами заборонено:

- здувати металевий пил чи стружку. Їх видаляють щітками;

- застосовувати слабо насаджені на ручки або не закріплені клином кува-  
лди чи молотки.

Під час роботи з механізованим інструментом заборонено:

- змінювати місце роботи з працюючим інструментом;
- працювати з приставних сходів;
- залишати із працюючим двигуном інструмент без нагляду;
- перегинати чи натягувати шланги, кабель інструменту, допускати їх ко-  
нтакт з канатами, кабелями, які б знаходились під напругою, шлангом по якому  
подається кисень та інші гази;
- працювати без навісів на відкритих майданчиках з електроінструментом.

Перебування людини під обладнанням яке установлюють, під монтажним  
вузлом до остаточного закріплення не допускається.

Заборонені не передбачені проєктом закріплення вузлів, обладнання, тру-  
бопроводів на змонтоване обладнання або конструкції будівлі без відома і до-  
зволу виконроба або майстра.

## 4.2 Заходи для модернізації автоматизації сушарки

Автоматизація дозволяє персоналу управляти механізмами без необхідності безпосереднього втручання. Якщо процес виробництва автоматизований, роль оператора зводиться до регулювання, налагодження, обслуговування спостереження за дією засобів автоматизації. Автоматизація полегшує фізичний особливо ручний труд людини, і також автоматизація має метою полегшення і розумової праці. Однак для експлуатації засобів автоматизації виняє необхідна висока кваліфікація обслуговуючого персоналу [36].

По рівню автоматизації одне з провідних місць посеред інших секторів промисловості займає теплоенергетика. Теплоенергетична установка характеризується безперервністю процесів, які у них протікають. Разом з тим, виробництво електричної та теплової енергії в повинне відповідати споживанню (навантаженню) будь-який момент часу. Тому майже всі операції на теплоенергетичному устаткуванні механізовані, і в них розвиваються порівняно швидко перехідні процеси. Цим можна пояснити в тепловій енергетиці високий рівень автоматизації.

Автоматизація теплоенергетичних процесів надає значні переваги [37]:

- 1) збільшує точність підтримування заданих параметрів в процесах;
- 2) зменшує чисельність робочого персоналу, тобто гарантовано підвищує продуктивність його праці;
- 3) призводить до змін в характері праці персоналу;
- 4) підвищує надійність роботи обладнання та безпеку праці;
- 5) сприяє підвищенню економічності при роботі теплотехнічного обладнання.

Будь який автоматизований сушильний комплекс включає в себе дистанційне керування, автоматичне регулювання, технологічний захист, технічний контроль, сигналізацію і технологічне блокування.

Дистанційний контроль забезпечує швидке реагування операторів на

нештатні ситуації. Автоматичне регулювання забезпечить нормальне проходження процесів, що протікають в сушарці безперервно (підігрівання теплоносіїв, випаровування вологи, горіння тощо).

Технологічний контроль роботи сушарок й обладнання для сушіння виконується показуючими і самописними приладами, що діють автоматично. Вони безперервно контролюють ті процеси, що протікають в сушарці, та підключаються на об'єкт вимірювання інформаційно-обчислювальною машиною чи обслуговуючим персоналом. Прилади, що здійснюють теплотехнічний контроль розташовують на щитах управління або панелях які дають можливість зручно обслуговувати й вести спостереження.

Технологічне блокування здійснює певні операції при запуску і зупинці механізмів сушильної установки у заданій послідовності, та блокує роботу установки якщо спрацьовує технологічний захист. Блокування виключає неправильні операції, що можуть проходити якщо сушильна установка обслуговується, забезпечать в необхідній послідовності відключення обладнання якщо виникає аварія або нештатна ситуація в роботі.

Пристрої, що відповідають за технологічну сигналізацію здійснюють інформування чергового персоналу про стан устаткування (працює, зупинено тощо), попереджають, якщо параметр наближається до небезпечного значенням, повідомляють якщо виникає аварійний стан в теплогенераторі сушарки і його устаткуванні. Застосовується світлова і звукова сигналізація.

Метою даного підрозділу є розробка схеми автоматизації зерносушарки “СЗ-16ПМВ”, модернізованої щоб підвищити її енергоефективність.

Завдання:

- забезпечення управління швидкістю проходження зернових через сушарку у відповідності з фактичною вологістю зерна на виході;
- організація контролю температури зерна в зоні сушіння і її регулювання;
- забезпечення автоматичного керування подачею і температурою теплоносія в сушарку;

– підвищення безпеки обладнання і персоналу встановленням технологічної сигналізації, яка могла б сповістити про надмірний вміст шкідливих газів в приміщеннях та швидке зменшення чи збільшення температури.

#### 4.2.1 Опис об'єкту автоматизації

##### 4.2.1.1 Аналітичний огляд літературних джерел

Автоматизація сушарки “СЗ-16ПМВ” має метою покращити надійність роботи всієї сушарки, гарантованого стабілізування технологічних процесів і забезпечити високу якість готового продукту. Сушарка “СЗ-16ПМВ” призначена для сушіння різноманітної сільськогосподарської зернової і насінневої сировини. Висока якість висушеного зерна, якої досягають автоматичним підтриманням оптимальних температурно-вологісних параметрів процесу сушіння – головна задача автоматизації сушильних процесів.

До модельного ряду колонкових зерносушарок належать моделі СЗ-25, СЗ-16, СЗТ-12, СЗТ-8, та інші, які розрізняються за розміром, масою, зерновою ємністю і, продуктивністю відповідно. Вони всі стаціонарні, автоматизовані зерносушарки безперервної дії, колонкового типу з електричним приводом. Ці зерносушарки мають хорошу експлуатаційну надійність, зручність управління і високу безпеку [2]. Колонкові зерносушарки складаються з сушильної камери, завантажувального пристрою, який знаходиться над сушильною камерою, патрубків підведення теплоносія, площадок обслуговування і інверторів, пристрою розвантажування, блоку топки з нагнітальним вентилятором, який має забезпечити охолодження сировини, електрообладнання та системи зернопроводів. Сушильна камера складається із двох колонок, між якими є замкнутий простір.

Основні заходи по підвищенню енергоефективності колонкових сушарок це, як правило, способи інтенсифікувати сушильний процес і, відповідно, підвищення видатності зерносушарки на 50-70% для сушіння зерен колосових культур та насіння олійних культур через що застосовують комбіновані методи енергопідводу в сушарку. [6, 38].

Значно підвищує тепловий ККД сушарки також і реалізація сучасного температурного режиму сушіння [37]. За рахунок цих заходів і з заміною контролю температури в сушарці з вхідного на вихідний по зонах досягається зниження питомої витрати пального на сушіння до 15-25% (це залежить від того, які параметри зерна і які параметри має атмосферне повітря, котре подається в теплообмінники для підігрівання). При використанні інших чинників енергозбереження, таких як теплоти відпрацьованих теплоносіїв, економія палива складе до 35-40% [39], це призведе до зниження питомих енерговитрат пропорційно підвищенню видатності зерносушарки, оскільки при спрощених схемах енергопідведення енерговитрати рівні, бо нема додаткових енерговитрат за збільшеної продуктивності;

Також на ефективність сушіння впливає збільшення швидкості руху зерна по колонках в 1,5-2 рази, заходи щоб підвищити експлуатаційну надійність, рівномірність сушіння й охолодження зернівки, пожежну безпеку [40].

#### 4.2.1.2 Обґрунтування шляхів автоматизації сушарок “СЗ-16ПМВ”

Створення високоекономних сушильних установок та апаратів, в яких застосовуються нові методи і режими сушіння це одна з основних задач автоматизації сушильних процесів.

При проектуванні сушарки та розробленні засобів для їх автоматизації виникають наступні задачі:

а) як до сировини, що сушиться застосувати раціональний спосіб підводу тепла;

б) виникає проблема забезпечення повного керування процесом сушіння через автоматизоване управління;

в) отримання найкращих техніко-економічних показників (мінімальна вартість сушіння, мінімізовані капзатрати, мінімізована затрата теплоти та електроенергії) за забезпечення необхідної якості продукції.

Найскладнішим об'єктом управління в лінії з підготовки зернових до

зберігання є зерносушарка. Коли розглядати сушилку, як об'єкт управління, тоді за основні вихідні параметри потрібно брати вологість зерна в кінці сушіння, температуру нагрівання зерна, продуктивність сушарки, температуру теплоносія на виході і вході.

В сучасних сушарках керуючі дії є досить обмеженими: це переміщення регулюючих органів випускних апаратів, що змінює продуктивність сушарок, переміщення органів, які змінюють подачу пального до камери згоряння (топки), що призведе до змін в температурі теплоносія. Керуючою дією є переміщення регулюючих органів, що змінюють подавання зернівки до завантажувального бункера і, тим самим, змінюють рівень зерна в ньому [39,41].

Аналізи управляючих функцій, які враховують інтегральні показники функціонування сушарки, яка є об'єктом управління показують, що оптимальне управління колонковою сушаркою можна здійснювати стабілізуючи на граничних заданих рівнях температуру теплоносія та кінцеву вологість висушеного зерна. Тут потрібно врахувати деяке обмеження. Це недопустимість перевищення температури до якої нагрівається зерно під час сушіння, у першу чергу.

Крім безпосереднього управління процесами сушіння зернових, коли сушарка працює оператори займаються ще додатковими операціями: розпалювання топки теплогенератора, регулювання завантаження зерном приймального бункера, ліквідація аварійних режимів внаслідок того, що в топці згас факел [38].

#### 4.2.2 Системи автоматичного регулювання (САР) параметрів

##### 4.2.2.1 Регулювання рівня сировини в бункері

Регулювання завантаження сушарки зерном в автоматичному режимі виконується при роботі позиційного регулятора рівня.

Існуючі системи управління використовують електронні ємнісні датчики рівня. Використання цих регуляторів на практиці дозволяє суттєво покращити працю оператора по управлінню сушаркою. Як негативні особливості можна

вказати необхідність періодичного настроювання датчиків та можливість помилкових спрацювань [39].

Схема по регулюванню в бункері рівня зерна показана на рис. 4.1.

Як датчик рівня використано ультразвукові датчики FineTek серії EA (1-1) [42]. Із датчиків рівня сигнали подаються до реле-регулятора рівня ОВЕН ТРМ501 [43] (1-3). Реле-регулятор рівня виробляє сигнали неузгодження які передаються до пускової апаратури (1-4) виконавчих механізмів (1-5), якими виступають електроприводи типу СП-6М для шибера.

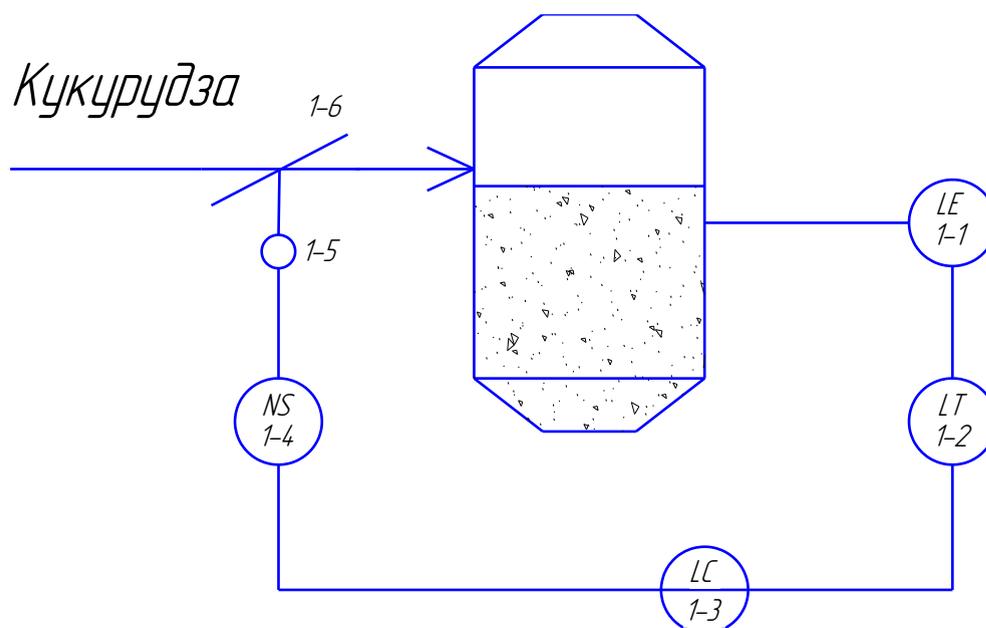


Рисунок 4.1 – Регулювання рівня сировини в розподільчому бункері

Коли бункер наповнений зерном на шибера діє поворотний механізм і подача сировини припиняється.

#### 4.2.2.2 САР температури теплоносія на вході в сушарку

Щоб ефективно вести процес сушіння і зберегти якість зерна потрібно, щоб температура в зерні не перевищувала заданого граничного значення. Відомо [37], що температурні поля в зерносушарках не є рівномірними. Для вірного протікання процесів потрібна постійна інформація по температурі зернівок в точках його максимального нагрівання, так як тільки цими точками визначаються місця де може бути теплове пошкодження зернівок [43].

Керування температурою теплоносія на вході та виході з сушарки відбувається по схемі зображеній на рис. 4.2.

Роль головної збурюючої дії відіграють зміни температури повітря на вході в робочу камеру сушарки. Через це збурення процес сушіння ненадійний [38].

Тому, щоб процес був надійним є необхідність в підтримуванні заданої температури повітря. Вимірювання температури теплоносія здійснюють за температурним датчиком – термоперетворювачем опору типу ТСП-1588.

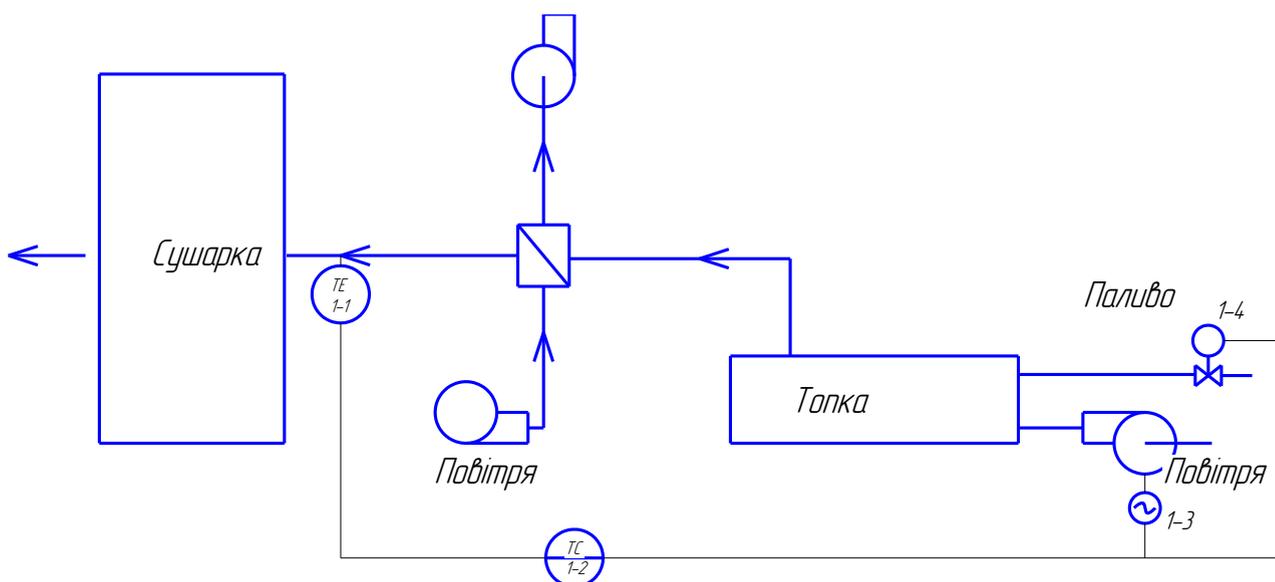


Рисунок 4.2 – Регулювання температури теплоносія на вході в сушарку

Сигнали про відхилення заданої величини температури подаються на пульт.

Датчик температури ТСП-1588 з діапазоном вимірювання від 0 °С до +150 °С має точність 0,5 °С. Такий температурний діапазон дозволяє проводити регулювання точно, так як для нормальної роботи сушарки робоча температура +110 °С [44].

Якщо змінюється температура теплоносія на вході до сушарки на регулятор ОВЕН МПР51-Щ4.03.RS подається сигнал. Регулятором виробляється сигнал неузгодження і подається до перетворювачів частоти (виконавчі механізми) приводів завантажувального механізму пального у топку сушарки та до

виконавчого механізму двигуна вентилятора. В сушильному комплексі перетворювачем частоти є перетворювач ESV453NO4TXB, що має такі характеристики: діапазон вихідної частоти 0...240 Гц, максимальна потужність від'єданого двигуна, 45 кВт, трифазне під'єднання, робоча температура до 55 °С. Внаслідок цих дій автоматично регулюється подача газів на виході з топки, це змінює, в свою чергу, температуру сушильного агента.

Програмні задатчики ОВЕН МПР51-Щ4 призначені для керування багатоступінчастим температурно-вологісним режимом технологічних процесів в хлібопекарській промисловості, для виробництва м'ясних та ковбасних виробів, в термо- і кліматокамерах, інкубаторах, сушильних шафах, для сушіння деревини, для виготовлення залізобетонних конструкцій тощо. Він працює по ПІД-закону регулювання, має покрокові регулювання задає від 5 до 60 програм, до комплексу входить інтерфейс RS-485. Містить 8 транзисторних і 4 релейні виходи [45].

#### 4.2.3 САР витрат теплоносія для сушки

Регулювання витрат теплоносія для сушки зернових виконується за витратою висушуваного матеріалу.

Процес регулювання витрати теплоносія для сушки наведений на рис. 4.3

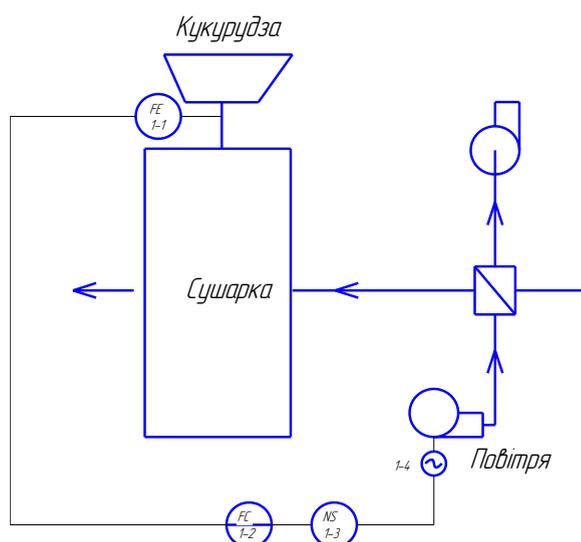


Рисунок 4.3 – САР витрати повітря на сушіння

Характеристики регуляторів ОВЕН ТРМ138 [43, 45]:

- широкий набір конфігурацій;
- 8 універсальних виходів і входів для під'єднання;
- розраховує і регулює середнє арифметичне, різницю та швидкість зміни вимірюваної величини;
- вбудовані інтерфейси RS 485 для під'єднання до інтерфейсу комп'ютера.
- режим ручного управління;

Перед початком сушильного процесу подача зерна вимірюється по датчику витрат зерна, що поступило до сушарки, Як датчик виступає витрато-вологомір «Композит 25» (1-1), що визначає початкову вологість зернівок, реєструє та відображає значення на пульті. Вимірянйй сигнал подають до регулятора ОВЕН ТРМ138 (1-2), він видає сигнали на перетворювач частоти ESV453NO4TXB (1-3), який застосовано для роботи вентиляторів свіжого повітря (1-4).

#### 4.2.4 САР готовності висушеного зерна

Цикл сушіння завершується, коли вологість в матеріалі досягає відповідно значення до заданого.

Як датчик вологості теплоносія після сушарки використано ДВТ-04, який є перетворювачем вологості психометричного типу. Основні його характеристики подані в таблиці 4.11.

Як температурний датчик вихідного теплоносія використано термопару хромель-копель ТХК-0188 що має робочий температурний діапазон від – мінус 40 до 600 °С; клас за ДСТУ ГОСТ 3044 – 2, з показником теплової інерції 20.

Таблиця 4.11 – Технічні характеристики ДВТ-04 [46]

Показник	Значення
1	2
Датчики для вимірювання температур	2x100М, 2xPt100, 2xPt1000
Діапазон відносної вологості, %	10...100 (без конденсату)
Приведена відносна похибка вимірювання відносної вологості, %	1 (в діапазоні 70...100%)
Робоча температура при експлуатації, °С	0...90
Клас допуску за ТС	В
Клас допуску між ТС	1/2 А
Показник теплової інерції, с	18...25

Схема контролю готовності висушеного зерна показана на рис. 4.4.

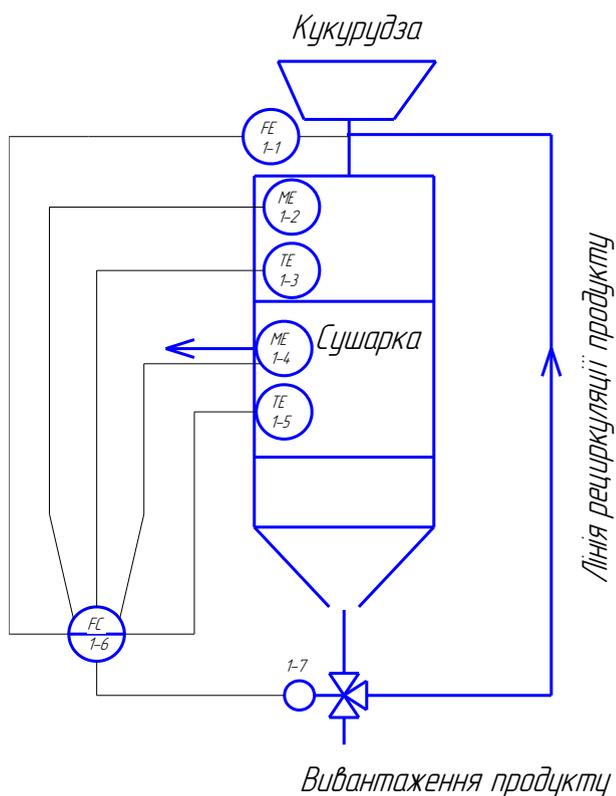


Рисунок 4.4 – Контроль готовності висушеного зерна

Температурні та вологісні датчики визначають після сушарки характеристики теплоносія (1-2 – 1-5) направляють зняті покази на регулятор ОВЕН ТРМ138 (1-6), а він, у відповідності із заданим процесом направляє до виконавчого механізму (1-7) наступні вироблені сигнали: за відсутності змін на виході з сушарки вологості і температури теплоносія протягом 30 хв, на заслінку вивантаження матеріалу подається сигнал про відкриття.

Коли процес вивантаження завершено, що реєструє витратомір «Композит 25» (1-1), сигнал передається до регулятора, а з нього до заслінки бункера завантаження про те, що надійшла наступна порція сировини [39].

#### 4.2.5 Технологічний захист

В роботі зерносушильних комплексів можливе виникнення ситуацій при яких є можливим псування обладнання або продукції, це вимагає потім значних капітальних затрат або можливе створення загроз здоров'я чи життя обслуговуючого персоналу. Щоб запобігти таким ситуаціям необхідне забезпечення аварійної зупинки сушарки. Повне її відключення має забезпечуватися в наступних випадках:

- зупинка руху зерна у сушарці;
- відключення електроенергії;
- поломка завантажувального бункера.
- вихід з ладу дугтєвого вентилятора топкового повітря;
- вихід з ладу нагнітального вентилятора для сушки;
- раптове, більше ніж на 25 °С, підвищення температури теплоносія;
- коли зерно перегрівається;

Коли відбувається відключення електроенергії весь комплекс автоматично зупиняється причому всі заслінки залишаються у робочих положеннях окрім заслонок подачі пального та подачі сировини для сушіння, відбувається автоматичне вимкнення процесу сушіння як і при відключенні будь-якого з вентиляторів. Коли відключається вентилятор, світловий сигнал подається до щита управління

[39].

Якщо температура сушильного агента перевищує певні межі, це веде за собою до зупинки всього комплексу. Часто цей вихід з нормального сушильного режиму нівелюють перериванням подачі пального до топки, при цьому вентилятори подачі повітря залишається ввімкненими як і механізм циркуляції зернівки.

Повне відключення відбувається так. Якщо циркуляційний вентилятор несправний, свіже повітря не надходить в теплообмінник. На витяжному димососі та вентиляторі автоматично відбувається переключення засувки. Засувка перекриває хід гарячих газів у газоповітряний теплообмінник і гази відразу починають викидатися до атмосфери. Засувка перекриває викид відпрацьованого повітря перед витяжним вентилятором і проходить відключення нагріву повітря [48]. Технологічний захист контрольованих величин здійснюють багатоканальним регулятором ОВЕН.

#### 4.2.6 Технологічний контроль та сигналізація

Сучасні сушарки мають систему контролювання нагріву зернівки по одноточковому контролюванню температури. Колонкові зерносушарки щоб контролювати температуру зерна, мають один манометричний термометр, чутливий елемент якого встановлюють і у колонці сушарки і у підсушувальному бункері. Як показує досвід, такий спосіб контролю є малоефективний і випадки з перегріванням зерна дуже часто трапляються.

За останній час розробляють і досліджують ряд контрольних систем, що дозволять забезпечувати необхідну інформацію про зміни температур зернових в сушарках. Як правило, вони є багатоточковими (12 точок) приладами із термометрами, що спеціально захищені від впливу теплоносіїв і на базі логометрів здійснюється періодичні опитування датчиків в проміжку 40-60 °С і дають сигнал оператору сушарки якщо є недопустиме відхилення температур зерна в певній зоні. Захист таких датчиків від дії теплоносіїв здійснюють через спеціальний захисний кожух, якого встановлюють в колонках.

Набір контрольно-вимірювальних приладів потрібних для контролю і

забезпечення безпеки в установці.

Потрібно визначати та записувати такі експлуатаційні параметри:

- температуру теплоносія термоперетворювачем опору ТСП-1588;
- температуру гарячих газів перед теплообмінником, на виході з топки з термоперетворювачем термоелектричним ТХК-0188;
- витрату теплоносія та температуру, до якої охолоджується зерно за допомогою ультразвукового витратоміра «Композит 25»;
- витрату пального та готового зерна за допомогою ультразвукового витратоміра;
- температуру зерна за допомогою комбінованого приладу ДВТ-04;
- витрату зерна за допомогою ультразвукового витратоміра «Композит 25»;
- вологість зерна за допомогою комбінованого приладу ДВТ-04;
- витрату повітря для сушки за допомогою ультразвукового витратоміра «Композит 25».

Визначивши контроль за цими параметрами, забезпечують можливість безперебійної роботи всієї системи.

Передбачено попереджувальну сигналізацію про відхилення режимів роботи, яка встановлена на пульті керування. Якщо температура повітря на вході в сушарку відхиляється від заданої, про це оператора попереджує світловий сигнал.

Якщо відключається циркуляційний вентилятор, відбувається повне вимкнення сушарки і подається звуковий сигнал. Розшифровує причину аварії аварійна сигналізація. На схемі щита управління передбачено три режими роботи: режим місцевого управління, напіваавтоматичний і автоматичний. Автоматичний є основним режимом роботи. В автоматичному режимі аварійна сигналізація і захист вмикаються в повних об'ємах і забезпечують відключення сушарки за аварійного відхилення параметрів.

Захист і аварійна сигналізація працюють в повних об'ємах і в режимі напіваавтоматичного управління. Ввімкнене положення реле контролю всіх

технологічних параметрів є нормальним.

Для режиму ручного управління передбачено тільки налагоджувальні режими. Експлуатація в режимі ручного управління заборонена [37].

Робочим місцем оператора є пульт управління, який має задовольняти таким вимогам:

а) поверхня пульта має забезпечувати направлено розсіяне чи дифузійне відбивання світлових потоків, яке виключає появу блисків у полі зору працівника;

б) якщо пульти призначені для управління однотипними об'єктами, на них дотримуються одного й такого ж розташування аварійних, часто використовуваних та найбільш важливих засобів введення і відображення інформації;

в) пульт за необхідності має бути обладнаний висувними ящиками щоб в них зберігати документацію і висувною дошкою, щоб на ній вести записи та розміщувати додаткові переносні прилади;

г) для роботи оператора в сидячому положенні пульти повинні мати простір для його ніг з розмірами: висота – 600 мм, глибина по рівню підлоги і колін – відповідно 600 і 400 мм, ширина – 500 мм, не менше;

д) панель пульта не повинна мати елементи, які б утруднювали роботу оператора чи відволікали його увагу, не мати невиправданих призначеннями пульта виступів, заглиблень, різноплощинності тощо [37].

Основними інженерно-психологічними характеристиками пультів управління є їх геометричні розміри і форма. Застосовують пульти такої форми:

а) фронтальної, її застосовують якщо є можливість розташування всіх органів керування в межах зон допустимої чи максимальної досяжності, а індикатори розташовані в зоні периферійного зору;

б) трапецієподібної такої форму використовують якщо неможливе розташування органів керування на пультах з фронтальною формою. Тоді індикатори та органи управління розташовують на бокових панелях, їх розвертають відносно фронтальних під кутами 90-120°;

в) багатогранні чи напівкруглі використовують, якщо є наявність великої

кількості органів управління і засобів відображення інформації. Такі бокові панелі рекомендовано розташовувати перпендикулярно до лінії зору операторів. За нормами, напівкруглий пульт мінімального діаметра, що призначений одному оператору, має бути 1200 мм [37].

#### 4.2.7 Розрахунки регулюючих органів

##### 4.2.7.1 Загальні положення

У технологічних процесах для транспортування рідин і газів застосовуються, як правило, напірні трубопроводи. У таких трубопроводах потоки рухаються за рахунок тиску, що створений компресорами (для газів) або насосами (для рідин). Вибір необхідних насосів або компресорів робиться по двох параметрах: необхідним тиском і максимальною продуктивністю.

Основний керуючий вплив в системі автоматичного регулювання створюють зміною витрат рідин чи газів способом дроселювання [38].

Основними статичними характеристиками регулюючих органів є функціональна залежність витрат через нього від ступеню його відкриття

$$q = f(h), \quad (4.20)$$

де  $h = H / H_{\max}$  – відносний хід затвору в регулюючому органі.

$q = Q / Q_{\max}$  – відносна витрата;

Цю залежність називають: видаткова характеристика регулюючого органу. Так як регулюючі органи є частинами трубопровідних мереж, які включають в себе ділянки трубопроводів, повороти і вигини труб, вентиля, низхідні та висхідні ділянки, його витратні характеристики відображають фактично роботу гідравлічних систем «мережа + регулюючий орган». Тому видаткова характеристика двох однакових регулюючих органів, що встановлені на трубопроводі різних довжин, суттєво відрізняються між собою.

Характеристики регулюючих органів, які не залежать від його зовнішніх

з'єднань називають пропускними характеристиками. Вони є залежностями відносної пропускної здатності в регулюючих органах від їх відносного відкриття  $h$  [37,38,47].

Інші показники, необхідні для вибирання регулюючих органів:

- максимально допустимий тиск  $P_u$ ;
- діаметр приєднувальних його фланців  $d_u$ ;
- властивості речовини;
- температура  $t$ .

Індекси «у» вказують на умовні значення показників, це можна пояснити тим, що неможливе забезпечення їх точного дотримання якщо регулюючі органи випускати серійно. Оскільки видаткові характеристики регулюючих органів залежать від гідравлічних опорів трубопровідних мереж, в яких вони встановлені, виникає необхідність мати можливості коригування цих характеристик. Якщо регулюючі органи допускають таке коригування, їх називають «регулюючі клапани». У конструкції таких клапанів є пустотілі чи суцільні циліндричні плунжери, що допускає зміни в профілі щоб отримати необхідну видаткову характеристику.

#### 4.2.7.2 Розрахунки шиберів в повітряному тракті

Методика розрахунків регулюючих органів (шиберів) для повітря є наближеною методикою підтвердженою практикою [47].

За такою методикою можливо виконати спрощені розрахунки шиберів за стандартної їх експлуатації.

Для розрахунку беремо шибери фірми SAMSON. Це класичні шибери для регулюючих клапанів і для регуляторів прямої дії і містять необхідні для розрахунку дані про свої робочі характеристики: номінальні діаметри, номінальні тиски і умовну пропускну здатність  $K_{vs}$ .

Точні розрахунки регулюючих клапанів і регуляторів прямої дії і виконуються за DIN EN 60534. Застосування нижченаведених формул за приписом VDI

/ VDE 2173 в більшості випадків забезпечує достатню точність.

Щоб розрахувати значення гідродинамічних параметрів шибера  $K_v$  необхідно знати відповідні робочі параметри шиберних заслонок (рис. 4.5):

- $H$  хід, мм;
- $W$  масова витрата, кг/год;
- $p_2$  тиск після клапана, бар;
- $p_1$  тиск перед клапаном, бар;
- $\Delta p$  перепад тиску (різниця тисків –  $p_1 - p_2$ ), бар;
- $\rho_1$  густина перед клапаном (для пари і газів), кг/м<sup>3</sup>;
- $V$  об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/год;
- $\rho$  густина (загальна), кг/м<sup>3</sup>;
- $t_1$  температура перед клапаном, °С.

Для кожних серій регулюючих клапанів вказують повний робочий хід  $H_{100}$ , за досягнення якого клапани вважаються повністю відкритими. Це називають номінальним ходом.

Параметр  $K_v$ . Під цією величиною розуміють витрату  $V$  (для об'ємного потоку) середовищ в м<sup>3</sup>/год за температури 5-30 °С, що за перепаду тиску в 1 бар, при заданому ході  $H$  проходить через регулюючий шибер.

Параметр  $K_{vs}$ . Щоб охарактеризувати тип шибера (конструктивних серій) вказують умовну пропускну здатність  $K_{vs}$ , яка є вказаним значенням  $K_v$  за номінального ходу шибера  $H_{100}$ .

Параметр  $K_{v100}$ . Параметр шибера  $K_v$  за номінального ходу  $H_{100}$  називають  $K_{v100}$ . Цей параметр не може відхилитися від визначеного параметра  $K_{vs}$  більше чим на  $\pm 10\%$ .

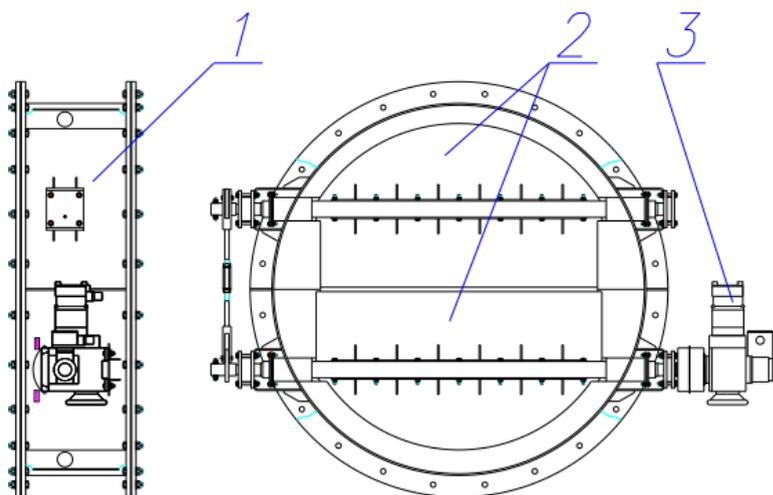


Рисунок 4.5 – Приклад шиберної заслінки 3К

1 – корпус; 2 – лопасть; 3 – привід.

Для характеризування роботи шиберної заслінки вводять поняття: коефіцієнт надійності

$$S = \frac{K_{vs}}{K_v}, \quad (4.21)$$

де  $K_v$  – розрахункове значення параметра  $K_v$ .

$K_{vs}$  – значення  $K_{vs}$  клапана;

Якщо розраховують регулятори прямої дії то  $S \approx 1,3-5$ .

Отримано наступне рівняння для масових витрат, якщо регулятор працює на сухому повітрі

$$W = 15,3 \cdot m \cdot K_v \cdot \sqrt{P_1 \cdot \rho_1} . \quad (4.22)$$

Рівняння (4.22) можна переписати так

$$W = m \cdot K_v \cdot Z, \quad (4.23)$$

$$K_v = W / (m \cdot Z). \quad (4.24)$$

де  $K_v$  – коефіцієнт витрати, м<sup>3</sup>/год;

$P_1, P_2$  – тиск середовища, кПа;

$\rho$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – масова витрата, кг/год;

$Z$  – коефіцієнт стиснення.

$m$  – коефіцієнт перепаду тиску;

Вхідними даними для розрахунку шиберів що стоять після нагнітального вентилятора свіжого повітря є:

- масова витрата 63680 кг/год.
- температура повітря  $t_n = 15$  °С;
- густина повітря  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;
- тиск до та після шиберу  $P_1 = 160$  кПа та  $P_2 = 170$  кПа;

Відношення тисків

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{160}{170} = 0,94. \quad (4.25)$$

За таблицею 3 та 4 [13] визначимо коефіцієнти:  $Z = 3,3$ ,  $m = 0,44$

$$K_v = 63680 / (0,44 \cdot 3,3) = 43857 (\text{м}^3 / \text{год}).$$

Тепер, за розрахунками, для повітропроводу зі свіжим повітрям на нагнітальній лінії вентилятора беремо шибери з електроприводами типу Bernard VG3400-B04MM00 Tescofi із діаметрами умовних проходів 800 мм що має стандартний коефіцієнт витрат  $K_v = 58200$  м<sup>3</sup>/год, який більший від розрахункового. Отже шибер вибрано вірно [48, 49].

#### 4.2.7.3 Розрахунки шибера в газовому тракті

Початкові дані для розрахунків шибера на газовій лінії перед теплообмінником:

- тиск до та після шиберу 180 кПа та 165 кПа;
- температура газів  $t_n = 300$  °С;
- масова витрата суміші газів 38,42 кг/с.
- густина повітря  $\rho = 0,748$  кг/м<sup>3</sup>;

Відношення тисків беремо за (4.25)

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{165}{180} = 0,92.$$

За таблицями 3 та 4 [13] визначимо коефіцієнти:  $Z = 3,4$ ,  $m = 0,62$ .

$$K_v = 38,42 \cdot 3600 / (0,62 \cdot 3,4) = 65613 \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right).$$

Для повітроводів перед теплообмінником виберемо шибер, що має електропривід Bernard VG3400-B04MM00 Tecofi в якого діаметр умовного проходу 1000 мм, а стандартний  $K_v = 77600$  м<sup>3</sup>/год, що більший від розрахункового, отже шибер вибрано вірно [48, 49].

#### Висновки до Розділу 4

В даному розділі розроблено заходи по організації та технології монтажу обладнання для модернізації колонкової сушарки та заходи з автоматизації модернізованої сушарки.

Визначено склад і об'єми робіт, потреба в машинах і механізмах та в

матеріальних ресурсах, трудомісткість монтажу.

Визначено час монтажу, склад бригад, а також максимум людей, що будуть виконувати дану роботу.

Після проведення необхідних розрахунків розроблений календарний графік монтажу сушарки, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів.

Розроблені такі системи автоматичного керування:

- регулювання температури теплоносія на вході в сушарку;
- регулювання рівня зернівки в бункері;
- готовності продукту.
- витрати теплоносія для сушіння;

Розроблено заходи з сигналізації фізичних величин, технологічного контролю, технологічного захисту.

Здійснено розрахунки регулюючих органів, а саме:

- розраховано шибери в повітряному тракті, після розрахунків вибрано шибер з електроприводом типу Bernard VG3400-B04MM00 Tesofi що має діаметр умовного проходу 800 мм і стандартний коефіцієнт витрати  $K_v = 58200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- розраховано шибери газового тракту, після розрахунків вибрано шибер Bernard VG3400-B04MM00 Tesofi що має діаметр умовного проходу 1000 мм і стандартний коефіцієнт витрати  $K_v = 77600 \text{ м}^3/\text{год}$ .

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Кошторисна вартість матеріалів

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування матеріалів для встановлення та обв'язки пластинчастого компактного теплообмінника дотримувалися вимог КНУ Настанова з визначення вартості будівництва і використовували кошторисну програму “Будівельні технології-Кошторис”.

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний кошторис за допомогою програмного комплексу (табл.5.1-5.3) на основі:

- ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН), на монтаж обладнання;
- поточних кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції;
- загально виробничі витрати розраховані відповідно до Настанови.

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітну плату будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатацію будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загально виробничих витрат.

Прямі витрати ( ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загально виробничі витрати ( ЗВВ ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

(найменування об'єкта будівництва)

**Таблиця 5.1 Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 02-005-001**

придбання обладнання.

(вид устаткування, меблів, інвентарю і робіт, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: креслення(специфікації) № \_\_\_\_\_, відомості тощо  
Кошторисна вартість 139,334 тис. грн.

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Документ, що обґрунтовує ціну	Найменування і характеристика устаткування, меблів та інвентарю, маса одиниці устаткування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	2308-1004	Вентилятор нагнітальний ВЦ 4-75 №4 в зборі, з віброопорами і вставкою гнучкою	шт	1.0	14120.80	14121
2	1516-9001	Теплообмінник пластинчастий розбірний тип ВВ	шт	1.0	119948.45	119948
<b>Разом</b>						134069
Транспортні та заготівельно-складські витрати						5265
<b>Всього по кошторису</b>						<b>139334</b>

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірів

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

63\_лк 02-005-002

Додаток 1  
до Настанови (пункт 3.11)

(найменування об'єкта будівництва)

**Таблиця 5.2 Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-005-002**на монтаж обладнання.  
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)ОСНОВА:  
креслення(специфікації)№Кошторисна вартість 887.817 тис. грн.  
Кошторисна трудомісткість 0.57439 тис. люд.-год  
Кошторисна заробітна плата 41.137 тис. грн.  
Середній розряд робіт 3.3 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин		
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	на одиницю
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	КБ20-31-1	Установлення вентиляторів, нагнітальний ВЦ 4-75 №4 в зборі, з віброопорами і вставкою гнучкою	1 вентилятор	1.0	1396.61	48.41	1397	722	48	10.2000	10.20	
					722.06	12.58			13	0.1630	0.16	
2	КМ6-281-7	Монтаж теплообмінника, пластинчастий розбірний тип ВВ - 0,9	т	1.2	21873.83	1363.27	26249	23397	1636	285.6000	342.72	
					19497.91	247.59			297	2.8409	3.41	
3	2307-40146	Засувка шиберная Ду 500РУ10 СМО (Іспанія)	шт	4.0	182750.12		731000					
4	2310-18010	Трійник вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006	шт	1.0	333.73		334					
5	2310-18012	Відвід 90 500 1 вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006	шт	6.0	1261.84		7571					
6	КБ20-4-7	Прокладання повітроводів з оцинкованої сталі класу П (щільні) товщиною 0,7 мм, діаметром від 500 до 560 мм	100 м2 поверхні повітроводів	0.5648	65417.60	355.84	36948	7805	201	207.4000	117.14	
					13819.06	105.69			60	1.4418	0.81	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	КБ20-6-7	Прокладання Циліндри базальтові кашированні алюмінієвою фольгою. ГОСТ 23208-83	100 м2 поверхні повітроводів	0.23	160879.90	355.84	37002	3543	82	231.2000	53.18
					15404.86	105.69			24		
		<b>Разом прямих витрат по кошторису</b>					840501	35467	1967		523.24
									394		4.71
		Разом прямі витрати				грн.	840501				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	72067				
		вартість ЕММ				грн.	1967				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		394			
		заробітна плата робітників				грн.		35467			
		Вартість устаткування				грн.	731000				
		вартість нарахувань на устаткування				грн.	28706				
		Всього вартість устаткування				грн.	759706				
		всього заробітна плата				грн.		35861			
		Загальновиробничі витрати				грн.	18610				
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					46.44
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		5276			
		<b>Всього по кошторису</b>				грн.	887817				
		Кошторисна трудоємність				люд-г					574.39
		Кошторисна заробітна плата				грн.		41137			

Таблиця 5.3 - Об'єктний кошторис

Кошторисна вартість	1027.151 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0.57439 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	41.137 тис. грн.
Вимірник одиничної вартості	

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудо-місткість, тис. люд.год	Кошторисна заробітна плата, тис.грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та ін-вентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	02-005-001	придбання обладнання		139.334	139.334	-		
2	02-005-002	монтаж обладнання	128.111	759.706	887.817	0.57439	41.137	
		Всього по кошторису	128.111	899.040	1027.151	0.57439	41.137	

Головний інженер проекту  
(Головний архітектор проекту)

[підпис (ініціали, прізвище)]

Керівник

відділу

(найменування)

[підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Загальні витрати проекту представлені в таблиці 5.4, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості влаштування обладнання (значення приймається із об'єктного кошторису таблиці 5.3).

Таблиця 5.4– Перелік інноваційних витрат

Орієновна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	10,27
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	2,05
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	15,41
Проектування	2,5	4	25,68
Експертиза інноваційного рішення	1	1	10,27
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	20,54
Виготовлення нового виробу	100	6	1027,151
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	30,81
Витрати на підготовку кадрів	5	2	51,36
Всього		21	1193,55

## 5.2 Показники комерційної ефективності проекту

Показники комерційної ефективності проекту показані в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Показники комерційної ефективності проекту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-84,23	-1240,32	558,93	571,08	562,60	572,75	594,98
2	Сальдо реальних грошей	-84,23	-771,303	558,93	528,85	520,37	534,64	560,99
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-84,23	-855,529	-296,60	232,24	752,61	1287,25	1848,24
4	Коефіцієнт дисконтування при нормі дисконту 16%	1,16	1,00	0,86	0,74	0,64	0,55	0,48
5	Чиста поточна вартість (п.1×п.4)	-97,70	-1240,32	481,83	424,40	360,43	316,32	283,28
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-97,70	-1338,03	-856,19	-431,79	-71,36	244,97	528,25

З таблиці 5.5 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на 3 році реалізації проекту.

## 5.3 Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту

Чисті грошові надходження

$$NV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t = \sum_{t=0}^{T_p} R_t - Z_t - N_t - K_t, \quad (5.1)$$

де  $NCF_t$  - чистий грошовий потік на  $t$ -ому році;

$R_t$  - результат виручки у  $t$ -й рік;

$Z_t$  - витрати у  $t$ -й рік;

$N_t$  - податки у  $t$ -й рік;

$K_t$  – інвестиції у  $t$ -й рік;

$T_p$ - розрахунковий період.

$$NV = 1535,78 \text{ тис. грн.}$$

#### 5.4 Чиста поточна вартість

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} (R_t - Z_t - N_t - K_t) \cdot \eta_t, \quad (5.2)$$

де  $\eta_t$  - коефіцієнт дисконтування.

Норма дисконту  $E = 0,16$ .

$$NPV = 528,25 \text{ тис. грн.}$$

Якщо  $NPV > 0$ , то проєкт можна рекомендувати до реалізації, якщо  $NPV < 0$ , то проєкт необхідно відхилити;

$NPV = 0$ , то в разі прийняття рішення про реалізацію проєкту інвестори не отримають доходів на вкладений капітал.

Висновки Оскільки  $NPV$  та  $NV$  є додатними, тобто за розрахунковий період грошові надходження перевищують суму капітальних вкладень, що призведе до зростання доходів інвестора, то проєкт вважається ефективним.

#### 5.5 Термін окупності інвестицій

Термін окупності

$$\sum_{t=0}^{T_p} (P_t - B_t) \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \cdot \eta_t. \quad (5.3)$$

##### 5.5.1 Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом

Кумулятивний метод передбачає знаходження періоду окупності за

формулою

$$T = t + \frac{COF_t}{CIF_{t+1}}, \quad (5.4)$$

де  $COF_t$  – залишок інвестиційних витрат, не забезпечених доходами на початок  $t$ -го періоду, грн.;

$CIF_t$  – чисті грошові надходження  $(t + 1)$ -го періоду, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-97,70	1240,32	481,83	424,40	360,43	316,32	283,28
Кумулятивна	-97,70	1338,03	-856,19	-431,79	-71,36	244,97	528,25

Як видно з таблиці 5.6 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 3 та 4 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати:

$$T = 3 + 71,36 / 316,32 = 3,23 \text{ років.}$$

#### Висновки до розділу 5

Склали кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний кошторис. В кошторисах пороховані:

- кошторисна вартість  $K_b = 1027,151$  тис. грн.;
- кошторисна заробітна плата ЗП = 41,137 тис. грн.;

– кошторисна трудомісткість  $T = 0,57$  тис. люд –год

Розраховали основні показники ефективності інвестицій в проєкт:

- чисті грошові надходження – 1535,78 тис. грн.;
- чиста поточна вартість –528,25 тис. грн.;
- термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 3,23 роки.

## ВИСНОВКИ

Основним правилом для переходу на альтернативні види палива є наявність сучасного котельного обладнання, яке б максимально використовувало паливні ресурси щоб отримати необхідну кількість енергії.

Разом з тим, при підборі твердого біопалива необхідно провести відповідні розрахунки для визначення економічної ефективності того чи іншого виду палива у випадку використання.

Досить зручно це робити методами математичного моделювання, склавши відповідну математичну модель і реалізувавши її у вигляді прикладної програми.

Складено математичну модель для аналізу придатності заданих в індивідуальному завданні видів палив, як відновлювального альтернативного (соняшникове лушпиння та деревні пелети), так і традиційного (мазут і вугілля).

Розрахунок показує, що коефіцієнти корисної дії колонкових сушарок для вибраних видів палива практично стали і коливаються в межах 41...43 %.

Витрата різних палив складає : для соняшникового лушпиння 0,158 кг/с, для вугілля 0,082 кг/с, для пелет 0,136 кг/с і для мазуту 0,064 кг/с.

Самим дорогим для роботи сушарки паливом виявився мазут М100 з годинною вартістю роботи 4150 грн/год., найбільш вигідним стало соняшникове лушпиння (1136 грн/год).

Якщо в регіоні є достатня кількість соняшникового лушпиння, в якості палива його можна впевнено рекомендувати.

Розроблено заходи з організації та технології монтажу обладнання для модернізації колонкової сушарки та заходи з автоматизації модернізованої сушарки.

Визначено склад і об'єми робіт, потреба в машинах і механізмах та в матеріальних ресурсах, трудомісткість монтажу.

Визначено час монтажу, склад бригад, а також максимум людей, що

будуть виконувати дану роботу.

Після проведення необхідних розрахунків розроблений календарний графік монтажу сушарки, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів.

Розроблені такі системи автоматичного керування:

- регулювання температури теплоносія на вході в сушарку;
- регулювання рівня зернівки в бункері;
- готовності продукту.
- витрати теплоносія для сушіння;

Розроблено заходи з сигналізації фізичних величин, технологічного контролю, технологічного захисту.

Здійснено розрахунки регулюючих органів, а саме:

- розраховано шибери в повітряному тракті, після розрахунків вибрано шибер з електроприводом типу Bernard VG3400-B04MM00 Tecofi що має діаметр умовного проходу 800 мм і стандартний коефіцієнт витрати  $K_v = 58200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- розраховано шибери газового тракту, після розрахунків вибрано шибер Bernard VG3400-B04MM00 Tecofi що має діаметр умовного проходу 1000 мм і стандартний коефіцієнт витрати  $K_v = 77600 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Виконано розрахунки економічної привабливості проєкту.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Які перспективи зернового ринку України до 2030 року. Українська зернова асоціація. URL : <https://uga.ua/news/yaki-perspektivi-zernovogo-rinku-ukrayini-2030-roku/> . (дата звернення 24.10.2025).
2. Ефективність зерносушарок та фактори, що на неї впливають. Лубнимаш. URL : <https://lubnymash.com/novosti/efektyvnist-zernosusharok-ta-factory-shho-na-neyi-vplyvayut> . (дата звернення 24.10.2025).
3. Котюжанський Я. І., Молочнюк А. В., Співак О. Ю. Вплив теплопровідних містків на температуру внутрішньої поверхні каркасних будівель. в «Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025) : збірник доповідей [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2025. С. 1926-1930.
4. Співак О. Ю., Таранюк К. Ю., Котюжанський Я. І. Визначення швидкості теплоносія в сушарці з псевдозрідженим шаром числовим методом. В «Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України 2025»». URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26407/21756> Дата звернення 20.11.2025.
5. Занько М. Вітчизняний ринок: шахта на вибір // Пропозиція. Спецвипуск. Сучасні техніка та технології зберігання зерна, 2015. С. 12–21.
6. АгроВектор. Колонкові зерносушарки: URL : <https://agrovektor.com/ua/category/318-zernosushilki.html> (дата звернення 13.10.2025).
7. IDC – Інтелектуальне керування сушаркою. URL : <https://www.tornum.com/uk/product/idc-intelligent-dryer-control/> (дата звернення 10.10.2025).
8. Альтернативні види палива в сучасних реаліях. URL : <https://energyservice.com.ua/article/texts-alternativnye-vidy-tverdogo-topлива-v-sovremennykh-realiyakh.html> (дата звернення 30.10.2025).

9. Альтернативне паливо майбутнього. Нове синтетичне і природне паливо. URL : <https://sbk.ltd.ua/uk/tehnichna-dokumentatsija/104-alternativnoe-toplivo-budushhego-novoe-sinteticheskoe-i-prirodnoe-toplivo.html> (дата звернення 30.10.2025).
10. Лушпиння соняшника. URL : <https://flagma.ua/uk/lushpynnia-soniashnyka-o15558280.html> (дата звернення 03.11.2025).
11. Пелети – сосна URL : <https://bioenergybank.kiev.ua/ru/tproduct/642608621-160039593931-pelleti-sosna-8mm> (дата звернення 03.11.2025).
12. Вугілля ДГ 13-25. URL : <https://prom.ua/ua/p2027163471-ugol.html> (дата звернення 03.11.2025).
13. Мазут М100. URL : <https://linik-ukr.uaprom.net/ua/p18390921-mazut-100.html> (дата звернення 03.11.2025).
14. Паспорт зерносушарки СЗ-16 URL : <https://ukravtonomgaz.ua/blog/zernosusharka-SZ-16> (дата звернення 01.11.2025).
15. ВР 80-75.1-12,5 Вентилятор радіальний. URL : [https://ukrvent.com/vr\\_86-77-12-5-html/](https://ukrvent.com/vr_86-77-12-5-html/) (дата звернення 04.10.2025).
16. Пластинчасті теплообмінники. Керівництво з експлуатації і технічного обслуговування. URL : [https://heatexchangers.danfoss.com/pdf/RU/Operation-Maintenance%20Manual%20-%20PHE\\_UA.pdf](https://heatexchangers.danfoss.com/pdf/RU/Operation-Maintenance%20Manual%20-%20PHE_UA.pdf). (дата звернення 04.10.2025).
17. АІР 225 М8 трифазний асинхронний електродвигун. URL : <https://systemax.ua/ua/elektrovigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrovigateli/air/air225m8--30-kvt-750-ob-min-.html>. (дата звернення 04.10.2025).
18. Технологічні розрахунки циклонів. URL : [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/severin\\_priodoohoronni\\_tehnologii/2-4-1.html](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/severin_priodoohoronni_tehnologii/2-4-1.html). (дата звернення 02.11.2025).
19. Конспект лекцій з дисципліни «Пиловловлювання та очищення промислових викидів» для студентів за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика заочної форми навчання /Укл. Глущенко О.Л. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. 82 с.

20. Кінаш Р. І., Жуковський С. С. Технологія заготівельних та спеціальних монтажних робіт. Львів : Вид. науково-технічної літератури, 1999. 448 с.
21. Грузовий фургон Ford Cargo 1826 DC. URL : [https://guzovoy.ua/catalog/technic/ford\\_cargo\\_1826\\_dc](https://guzovoy.ua/catalog/technic/ford_cargo_1826_dc). (дата звернення 25.11.2025).
22. Перфоратор Makita HR5001C. URL : <https://makita.com.ua/makita-hr-5001-c>. (дата звернення 06.11.2025).
23. Зварювальний апарат IGBT Dnipro-M SAB-17DFB. URL : <https://dnipro-m.ua/tovar/svarochnyj-apparat-igbt-sab-17d/> . (дата звернення 06.11.2025).
24. Газові навантажувачі Toyota 8FGF35. URL : [https://forstor.ua/ua/c-gazovie-pogruzchiki-toyota-do-3\\_5-tonn-28/](https://forstor.ua/ua/c-gazovie-pogruzchiki-toyota-do-3_5-tonn-28/) . (дата звернення 06.11.2025).
25. Закон України «Про охорону праці» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668.
26. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 12. Технологічні трубопроводи. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 406 с.
27. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 6. Теплосилове устаткування. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 190 с.
28. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 7. Компресорні установки, насоси і вентилятори. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 57 с.
29. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 9. Металеві конструкції. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 141 с.
30. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 150 с.
31. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 26. Теплоізоляційні роботи. [Електронний ресурс]. URL :

<https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-teploizolyaczijni-roboty.-zbirnyk-26.pdf>. (дата звернення 8.11.2025).

32. СОУ МПП 03.080.10-333.6:2011 Ресурсні елементні кошторисні норми. Технічне обслуговування і ремонт устаткування та обладнання загального призначення. Частина 6. Випробування і ремонт трубопроводів. Наказ Мінпромполітики України №114 від 04.05.2011.

33. ДСТУ ГОСТ 3845:2019 Труби металеві. Метод випробування гідростатичним тиском (ГОСТ 3845-2017, IDT) Москва : Стандартиформ, 2017. 56 с.

34. Купов Д. В. Система технічного обслуговування і ремонту енергетичного устаткування. Держком України по водному господарству. Київ : 2000р. 416 с.

35. Закон України від 14 жовтня 1992 року № 2694-ХІІ (зі змінами) «ПРО ОХОРОНУ ПРАЦІ». Прийнятий 14 жовтня 1992 р.; закон діє у редакції від 21 листопада 2002 р. із наступними змінами.

36. Арзуманов Е. С. Розрахунок і вибір регулюючих органів автоматичних систем. Донецьк : Техніка, 1971. 112 с.

37. Методичні вказівки до виконання курсового і дипломного проектування з дисципліни “Автоматизація теплоенергетичних та теплотехнологічних установок” для студентів напряму підготовки 0905 – енергетика / Укл. В. В. Бужинський, М. М. Чепурний. Вінниця: ВНТУ, 2005. 26 с.

38. Гапонюк І. І. Зменшення енерговитрат вітчизняних зерносушарок // Харчова промисловість, № 10, 2011. С.110-114.

39. Разживін О. В., Суботін О. В. Засоби автоматизації технологічних процесів : навч. посіб. для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології». Краматорськ : ДДМА, 2017. 147 с.

40. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах: [Чинний від 2008 - 06-27 № 271]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 14 с.

41. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Система проектної документації для

будівництва. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів: [Чинний від 2009-01-23 № 25]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 54 с.

42. Ультразвукові датчики рівня. URL : <https://simpletech.com.ua/ua/datchyky-rivnia> (дата звернення 11.11.2025).

43. Вимірювачі-регулятори температури ОБЕН ТРМ, ТРМ32, ТРМ200 та інші. URL : <https://elektrologistik.com.ua/ua/p2025966236-rele-regulyator-tajmerom.html> . (дата звернення 21.11.2025).

44. Термопари. URL : <https://kip-elektro.com.ua/termopara-preobrazovatel-termo-elektricheskij-termopreobrazovatel-ua> (дата звернення 11.04.2025).

45. TC4S-14R ПІД-регулятор 48X48 SSR+R Autonics. URL: <https://www.autonics.com/glb/product/class/Sensors> (дата звернення 11.04.2025).

46. Вимірювачі-регулятори. <https://aqteck.ua/ua/vymiryuvachi-reguljatory/> (дата звернення 11.04.2025).

47. Розрахунок регулюючого органу. URL : [http://www.samson.de/pdf\\_in/t00040ru.pdf](http://www.samson.de/pdf_in/t00040ru.pdf) (дата звернення 13.04.2025).

48. Шибєрні засувки. Характеристики. URL : [http://catalog.novatec.su/catalog/shibernye\\_zadvizhki/](http://catalog.novatec.su/catalog/shibernye_zadvizhki/) (дата звернення 13.04.2025).

49. Тесофі. Промислова запірна арматура. URL : <https://profimann.com.ua/uk/tecofi/> (дата звернення 14.04.2025).

## **ДОДАТКИ**

Додаток А  
(обов'язковий)  
**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Назва роботи: Енергозбереження в колонкових зерносушарках та критерії  
визначення їх ефективності

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ: ФБЦЕІ, кафедра ТЕ, група ТЕ-24м  
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 10.6 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Степанов Д.В., зав. кафедри ТЕ  
(прізвище, ініціали, посада)

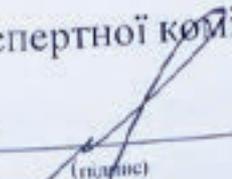
Резидент Н.В., доцент кафедри ТЕ  
(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку   
(підпис)

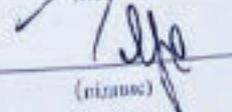
  
(підпис)  
  
(підпис)

Співак О.Ю.  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

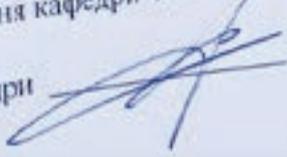
Керівник   
(підпис)

Співак О.Ю., доцент каф. ТЕ  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач   
(підпис)

Котюжанський Я.І.  
(прізвище, ініціали)

У відповідності до розпорядження 03/15 від 01.06.2022 р на засіданні кафедри теплоенергетики прийнято рішення виключити в кваліфікаційних роботах здобувачів кафедри з перевірки на наявність текстових запозичень розділ Охорони праці та Економічний розділ.  
Протокол засідання кафедри ТЕ № 18 від 14.05.2024 р.

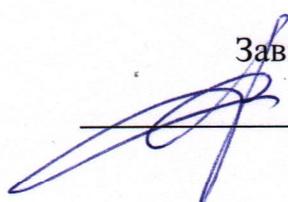
Зав. кафедри 

Д.В. Степанов

Додаток Б  
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри ТЕ

  
Д.В. Степанов

18.11.2025 року

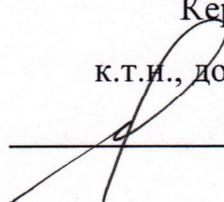
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на магістерську кваліфікаційну роботу

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОЛОНКОВИХ ЗЕРНОСУШАРКАХ  
ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

08-15.МКР.003.00.00.000 ТЗ

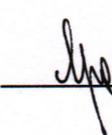
Керівник роботи:

к.т.н., доц. кафедри ТЕ

  
Співак О. Ю.

Виконавець:

студент гр. ТЕ-24м

  
Котюжанський Я.І.

## 1 Найменування та область застосування

Дослідження процесів в колонкових зерносушарках для підвищення енергозбереження в них та розроблення критеріїв оцінювання їх ефективності стосується сільського господарства, зокрема первинної переробки с/г продукції. Робота спрямована на вибір альтернативного палива як джерела енергії для колонкової сушарки.

## 2 Основа для виконання робіт

Основою для виконання робіт є наказ ректора ВНТУ про затвердження теми МКР №313 від 24.09.2025 р., індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, паспорти на існуюче обладнання,.

## 3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є паспорт та інструкція з експлуатації на колонкову зерносушарку СЗ-16ПМВ, параметри теплоносія в сушильній камері сушарки, а також нормативні дані по необхідних параметрах, наведених в інших теплоенергетичних джерелах:

- 3.1 Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки: навч посіб. Вінниця : ВНТУ. 2008. 98 с.
- 3.2 Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2014. 112 с.
- 3.3 Патент України. Сушильна шафа. U200704163.– 16.04.2007. F26.B9/06. №29962, опубл. 11.02.2008. бюл.№3.
- 3.4 Патент України. Пристрій для сушіння. U200387725. 14.08.2003. F26B9/06. №71120А, опубл. 15.11.2004. бюл. №11.
- 3.5 Патент України. Пристрій для сушіння. U200608145. 20.07.2006. F26B9/06. №20276, опубл. 15.01.2007. бюл. №1.
- 3.6 Патент України. Сушильна камера. U190041958. 07.04.1999. F26B9/06. – №32327, опубл. 15.12.2000. бюл. №7 – II.

3.7 Патент України. Сушильна шафа. U2001031697. 13.03.2001. F26B9/06. – №49170А, опубл. 16.09.2002. бюл. №9.

#### 4 Мета та призначення розробки

Підвищення енергоефективності та автономності колонкової сушарки для сушіння зернових культур, з метою здешевлення її енергоспоживання.

#### 5 Технічні вимоги

- температура свіжого повітря  $t_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- вологість свіжого повітря  $\varphi_0 = 75\%$ ;
- температура сушіння в першій зоні  $t_1 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- вологість вихідного сушильного агента з другої зони  $\varphi_2 = 50\%$ ;
- видатність сушарки  $G = 16 \text{ т/год}$ ;
- початкова вологість зерна  $\omega_1 = 22\%$ ;
- температура зерна після сушіння  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- кінцева вологість зерна після охолодження  $\omega_2 = 14\%$ ;
- робоче паливо – мазут М100 з Кременчуцького НПЗ.

Створення умов по підвищенню енергоефективності роботи камерної аеродинамічної сушарки САД – 14 та покращення якості сировини.

#### 6 Економічні показники

На сьогоднішній день більша частина готової сушеної продукції має високу собівартість, на що впливає висока енергоємність сушильних процесів.

В роботі проводиться: дослідження можливості і економічної доцільності зміни палива для процесу сушіння зернових в колонковій сушарці, застосування рекуперації теплоти відхідних газів з топки сушарки, для підвищення екологічної чистоти отриманого висушеного продукту при спалюванні в ній різних видів палива.

## 6 Заходи з енергозбереження

Модернізація сушильного комплексу, розроблення технології монтажу обладнання для модернізації та додаткового обладнання.

Автоматичне регулювання основних параметрів роботи модернізованої сушарки СЗ-16ПМВ.

Використання обладнання, яке відповідає сучасним стандартам, що дозволяє значно зменшити наявні теплові втрати.

## 7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Магістерська кваліфікаційна робота виконується відповідно до ДСТУ 3008 : 2015 та нормативної документації, яка діє в Україні. Кресленики основного обладнання, плани та схеми виконані на листах формату А3. Деталі обладнання за можливості вибрані стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

## 8 Вимоги з надійності

Надійність роботи комплексу забезпечується дотриманням вимог усіх необхідних нормативних документів. Усі розрахунки проводяться згідно державних стандартів. Процес монтажу та експлуатації повинен проводитися згідно стандартів з охорони праці.

## 9 Стадії і етапи розробки

### 9.1 Огляд літературних та патентних джерел

9.2 Розроблення математичної моделі сушарки. Аналітичні і числові дослідження

### 9.3 Оброблення отриманих результатів

### 9.4 Технологія монтажу обладнання для модернізації

### 9.5 Модернізація схеми автоматизації сушарки

9.6 Економічна оцінка інноваційного проєкту

9.7 Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу

10 Порядок контролю та прийняття магістерської кваліфікаційної роботи

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи.

Прийняття роботи здійснюється ЕК затвердженою ректором університету згідно до графіка захисту.

Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

Технічне завдання розроблено на підставі джерел розробки і може уточнюватись протягом виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

Додаток В  
(довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

Аналіз доцільності використання різних видів палива в сушарці СЗ-16ПМВ

Мазут := 1

Лушпиння := 2

Пелети := 3

Вугілля := 4

Початкові дані

Склад  
палива

C=1; H=2; S=3; O=4; N=5; W=6

Параметри  
сировини

Gm := 32000

Wn := 51

$\beta$  := 10

Wk := 4

Параметри  
сушильного  
агента

$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$

$t_0 := 18$  °C

$\varphi_0 := 0.75$

$t_1 := 175$  °C

$t_2 := 85$  °C

ORIGIN := 1

Хімічний склад палива

$$S1 := \begin{pmatrix} 84 & 10.1 & 0.9 & 1.1 & 0.8 & 3.0 & 0.1 \\ 42.5 & 4.9 & 0.2 & 34.6 & 0.4 & 15 & 2.4 \\ 48.08 & 5.7 & 0.04 & 38.96 & 0.21 & 6.82 & 0.19 \\ 74 & 4.4 & 2 & 5.1 & 2.7 & 8 & 4.8 \end{pmatrix}$$

Ціна палива

$\underline{C} := S1^{(1)}$

$\underline{H} := S1^{(2)}$

$\underline{S} := S1^{(3)}$

$\underline{O} := S1^{(4)}$

$\underline{N} := S1^{(5)}$

$\underline{W} := S1^{(6)}$

$\underline{A} := S1^{(7)}$

$\underline{v} := \begin{pmatrix} \text{Мазут} \\ \text{Лушпиння} \\ \text{Пелети} \\ \text{Вугілля} \end{pmatrix}$

$\underline{\Psi} := \begin{pmatrix} 18000 \\ 2000 \\ 6190 \\ 13000 \end{pmatrix}$

Вища теплота згоряння  
палива

$$Q_b := 0.339 \cdot C + 1.25H - 0.109(O - S)$$

$\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$

	1
1	41.08
2	16.78
3	19.18
4	30.25

$Q_b =$

Нижча теплота згоряння  
палива

$$Q_n := Q_b - 2.5 \cdot \left( \frac{9H + W}{100} \right) \quad \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$$

	1
1	38.73
2	15.31
3	17.73
4	29.06

Теоретична кількість повітря для спалювання 1 кг палива

$$L_0 := 0.115C + 0.345H - 0.043(O - S)$$

	1
1	13.14
2	5.1
3	5.82
4	9.89

Ентальпія водяної пари в сушильному агенті

$$h_{n1} := 2500 + 1.84t_1 = 2822$$

$$h_{n2} := 2500 + 1.84t_0 = 2533.12$$

Кількість випаруваної вологи  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$

$$W_b := G_m \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{W_n - W_k}{100 - W_k} = 4.352$$

Параметри свіжого повітря та теплоносія на вході в робочу камеру

$$\eta := 0.9 \quad C_T := 2.2 \quad C_{sa} := 1.006$$

– тиск насичення

$$P_n := e^{\left[ \frac{1500.3 + 23.5 \cdot t_0}{234 + t_0} \right]}$$

$$P_n = 2.063 \times 10^3$$

– парціальний тиск

$$P_p := \varphi_0 \cdot P_n$$

$$P_p = 1.548 \times 10^3$$

– вологовміст свіжого повітря,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$

$$d_0 := 622 \cdot \frac{P_p}{101325 - P_p}$$

$$d_0 = 9.6$$

–теплота пароутворення,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

$$r := -2.362 \cdot t_0 + 2501 = 2.458 \times 10^3$$

–ентальпія свіжого повітря,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

$$h_0 := C_{ca} \cdot t_0 + (r + C_{ca} \cdot t_0) \cdot \frac{d_0}{1000} = 42$$

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha := \frac{Q_b \cdot \eta \cdot 1000 + C_T \cdot t_0 - \left( \frac{9H + W}{100} \right) h_{n1} - \left( 1 - \frac{9H + W + A}{100} \right) \cdot C_{ca} \cdot t_1}{L_0 \cdot \left( \frac{d_0 \cdot h_{n1}}{1000} - h_0 + C_{ca} \cdot t_1 \right)}$$

Вологовміст сушильного агента на вході в робочу камеру сушарки

$$d_1 := 2.14 + \frac{10(9H + W) + \alpha \cdot L_0 \cdot d_0}{\alpha \cdot L_0 + \left( 1 - \frac{9H + W + A}{100} \right)} \quad d_1 = \begin{pmatrix} 13.484 \\ 12.849 \\ 12.83 \\ 12.639 \end{pmatrix}$$

Параметри відпрацьованого теплоносія

Теплота пароутворення

$$r_1 := -2.362 \cdot t_2 + 2501 = 2.3 \times 10^3$$

Ентальпія сушильного агента на вході в робочу камеру сушарки

$$h_1 := C_{ca} \cdot t_1 + 7 + (r_1 + C_{ca} \cdot t_1) \cdot \frac{d_1}{1000} \quad h_1 = \begin{pmatrix} 216.441 \\ 214.867 \\ 214.822 \\ 214.348 \end{pmatrix}$$

–тиск насичення

$$\varphi_2 := 0.2$$

$$P_n := 0.04 e^{\left[ \frac{1500.3 + 23.5 \cdot t_1}{234 + t_1} \right]}$$

$$P_n = 3.647 \times 10^4$$

–парціальний тиск

$$P_p := \varphi_2 \cdot P_n$$

$$P_p = 7.295 \times 10^3$$

– вологовміст відпрацьованого теплоносія,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$

$$d2 := 622 \cdot \frac{Pp}{101325 - Pp} = 48$$

$$\underline{\Omega} := \frac{1000}{d2 - d1} \quad \Omega = \begin{pmatrix} 28.761 \\ 28.244 \\ 28.23 \\ 28.078 \end{pmatrix}$$

$$\underline{Qb} := \begin{pmatrix} Qb_1 \\ Qb_2 \\ Qb_3 \\ Qb_4 \end{pmatrix} \quad \underline{Qn} := \begin{pmatrix} Qn_1 \\ Qn_2 \\ Qn_3 \\ Qn_4 \end{pmatrix} \quad \underline{L0} := \begin{pmatrix} 5.42 \\ 5.25 \\ 9.89 \\ 14 \end{pmatrix}$$

$$Wb = 4.352$$

Витрата повітря, кг/с

$$L1 := \Omega \cdot Wb$$

Різниця ентальпій

$$L1 = \begin{pmatrix} 125.162 \\ 122.915 \\ 122.851 \\ 122.192 \end{pmatrix}$$

$$\Delta h := h1 - h0$$

$$\underline{\Delta h} := \Delta h^T$$

$$\Delta h = (174.44 \quad 172.87 \quad 172.82 \quad 172.35)$$

Теплова потужність, витрачена на сушіння, з врахуванням ККД топки

$$\Delta h := \Delta h^T$$

$$Q1 := 0.1 \cdot (L1 \cdot \Delta h)$$

$$Qd := \frac{Q1}{0.88}$$

Корисна теплота

$$Qk := 0.1 \cdot Wb \cdot r_1 = 1001$$

ККД сушарки

$$\underline{\eta} := \frac{Qk}{Qd} \cdot 100$$

$$\underline{\eta} := \eta^T$$

$$\eta = (40.347 \quad 41.458 \quad 41.491 \quad 41.829)$$

Витрата палива, кг/с

$$B := \frac{Qd}{Qn \cdot 1000}$$

$$\underline{B} := B^T$$

$$B = (0.064 \quad 0.158 \quad 0.136 \quad 0.082)$$

Затрати на паливо, грн/год

$$\Psi := \Psi^T$$

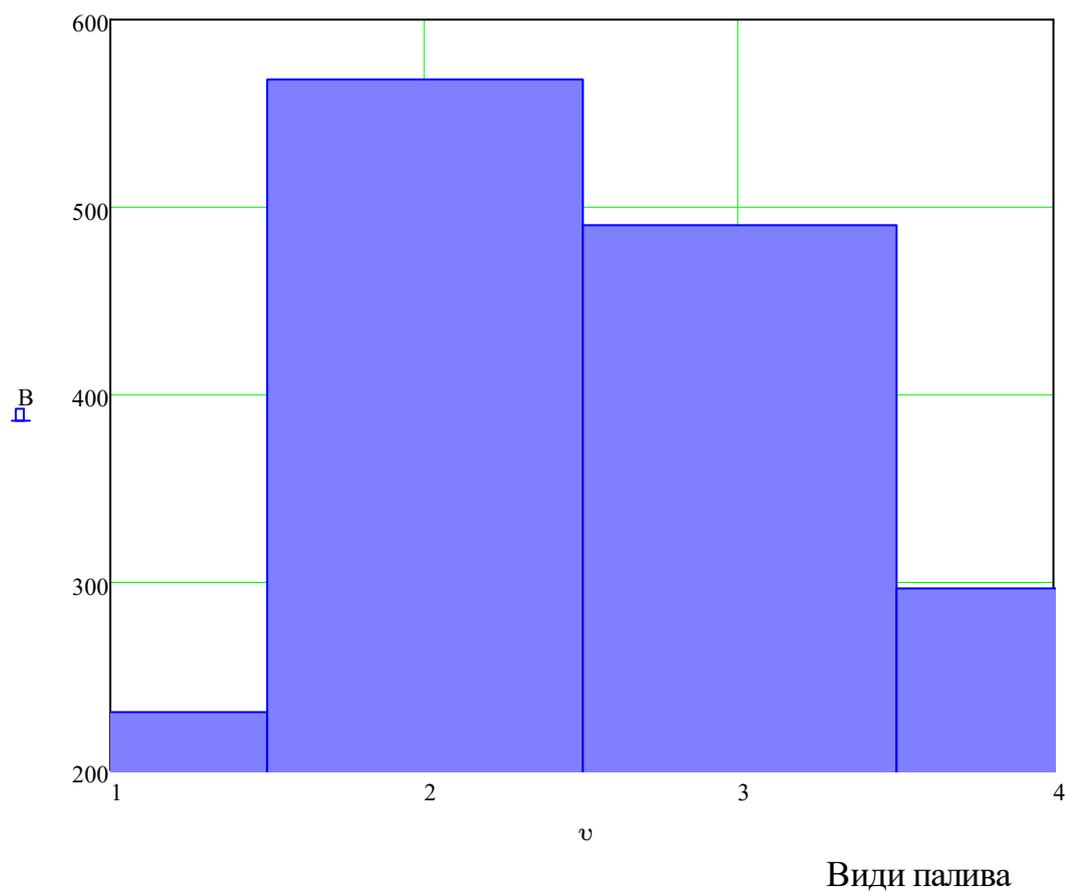
$$z := \overrightarrow{(B \cdot \Psi)} \cdot \frac{3600}{1000} = (4.151 \times 10^3 \quad 1.136 \times 10^3 \quad 3.033 \times 10^3 \quad 3.854 \times 10^3)$$

$$z := z^T$$

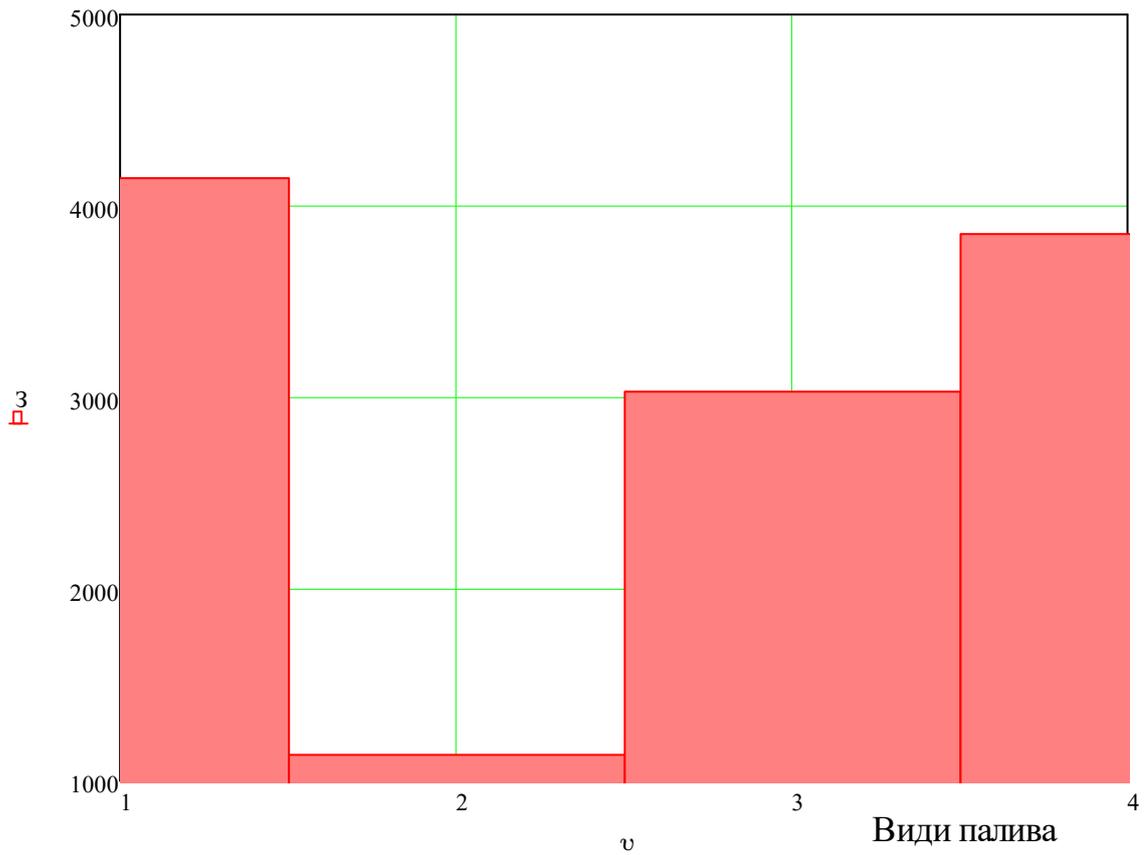
$$B := B^T$$

$$B := B \cdot 3600$$

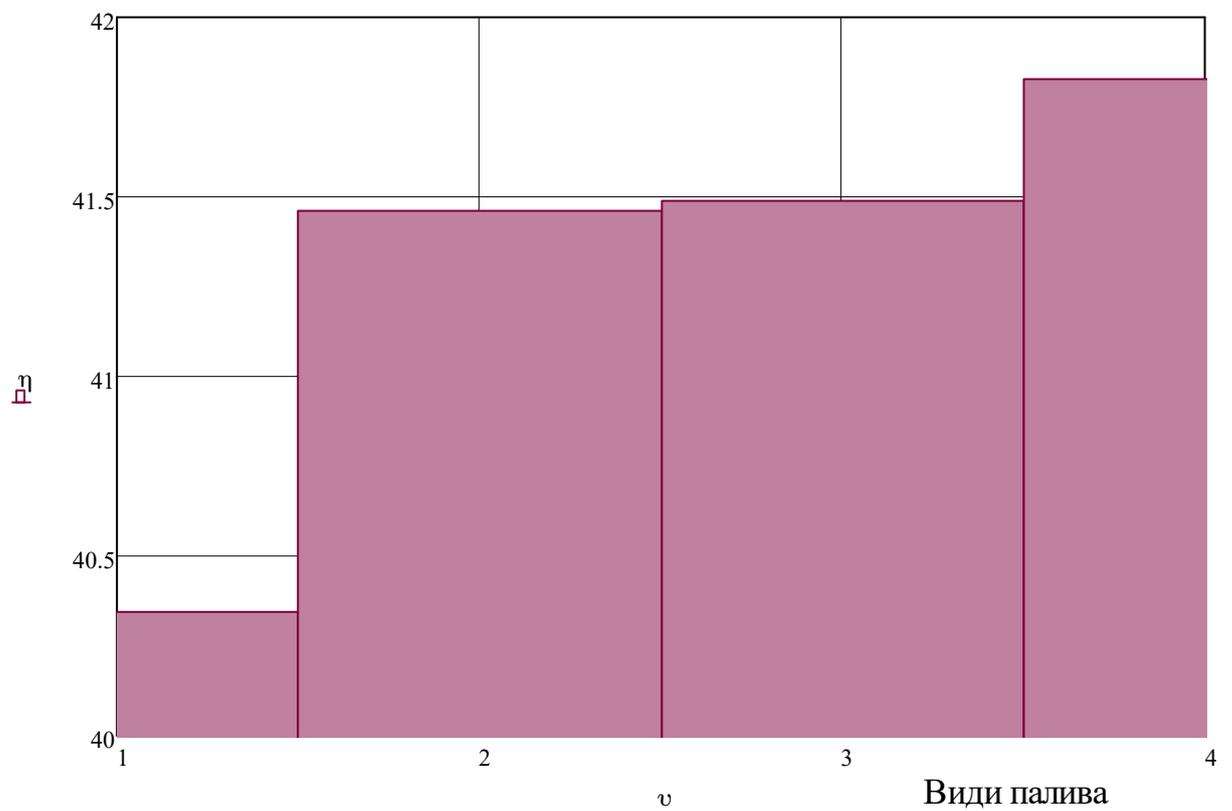
Витрата палива, кг/год



Затрати на паливо, грн/год



Коефіцієнт корисної дії

 $\eta := \eta^T$ 

Додаток Г  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КОЛОНКОВИХ ЗЕРНОСУШАРКАХ  
ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ**  
*(назва магістерської кваліфікаційної роботи)*

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	08-15.МКР.003.01.01.000	Шахта колонкова	1	
		2	08-15.МКР.003.01.02.000	Топка мазутна	1	
		3	08-15.МКР.003.01.03.000	Розтруб нагнітальний	1	
		4	08-15.МКР.003.01.04.000	Затвор	1	
		5	08-15.МКР.003.01.05.000	Норія верхня	1	
		6	08-15.МКР.003.01.06.000	Норія нижня	1	
		7	08-15.МКР.003.01.07.000	Труба витяжна	1	
		8	08-15.МКР.003.01.08.000	Бункер завантажувальний лівий	1	
		9	08-15.МКР.003.01.09.000	Бункер завантажувальний правий	1	
		10	08-15.МКР.003.01.10.000	Колонки	12	
		11	08-15.МКР.003.01.11.000	Бункер сирого зерна	1	
		12	08-15.МКР.003.01.12.000	Конус	1	
		13	08-15.МКР.003.01.13.000	Клинопаси	2	
		14	08-15.МКР.003.01.14.000	Запірний механізм	1	
		15	08-15.МКР.003.01.15.000	Повітропровід нагнітальний	1	

Справ. №

08-15.МКР.003.01.00.000

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Котюжанський Я.І.		
Перевір.		Слівак О.Ю.		
Опонент		Христич О.В.		
Н.контр.		Слівак О.Ю.		
Затверд.		Степанов Д.В.		

Сушарка колонкова

Стадія	Аркуш	Аркушів
		1

TE-24M



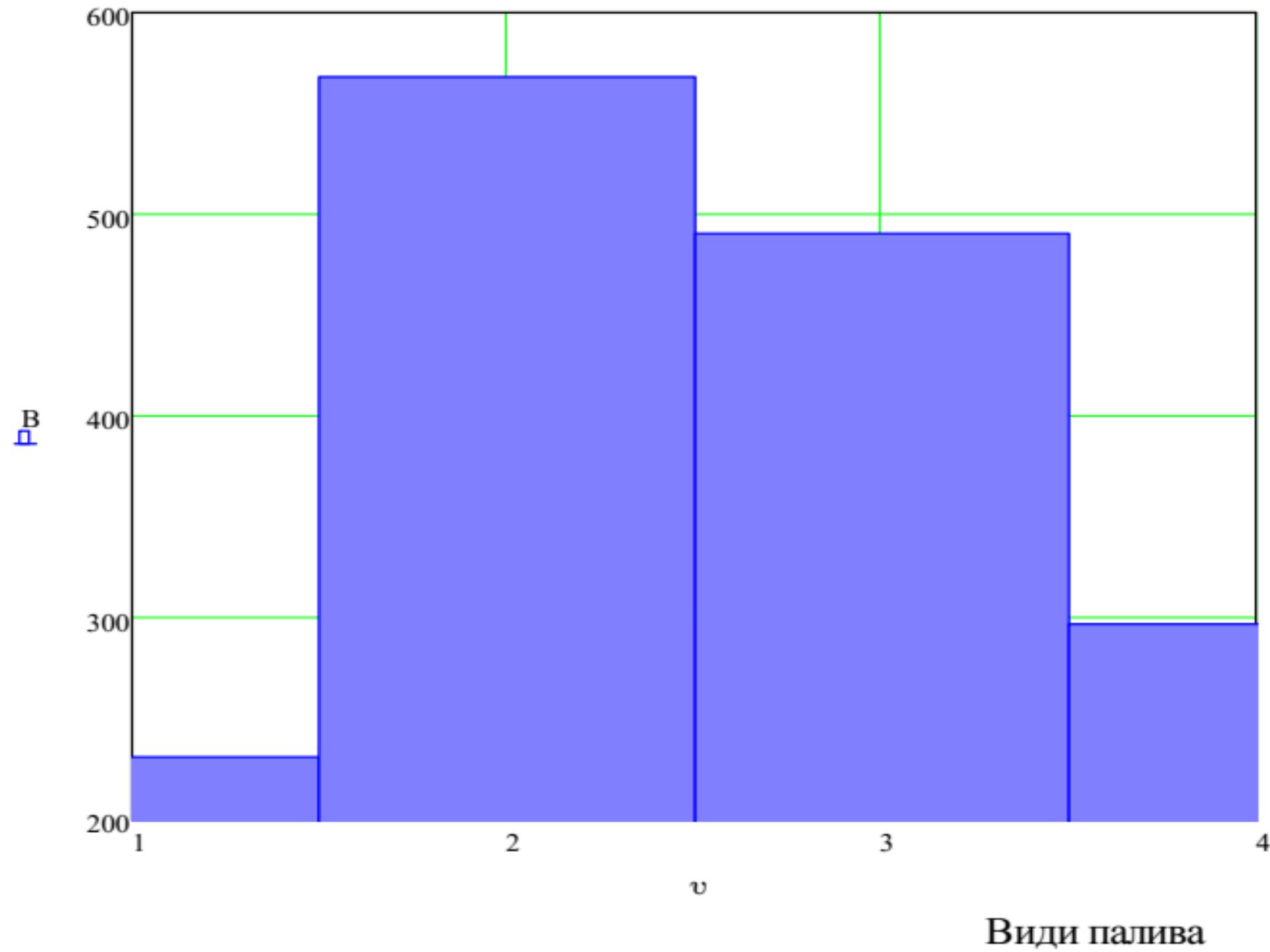






Витрата палива для роботи сушарки СЗ-16ПМВ

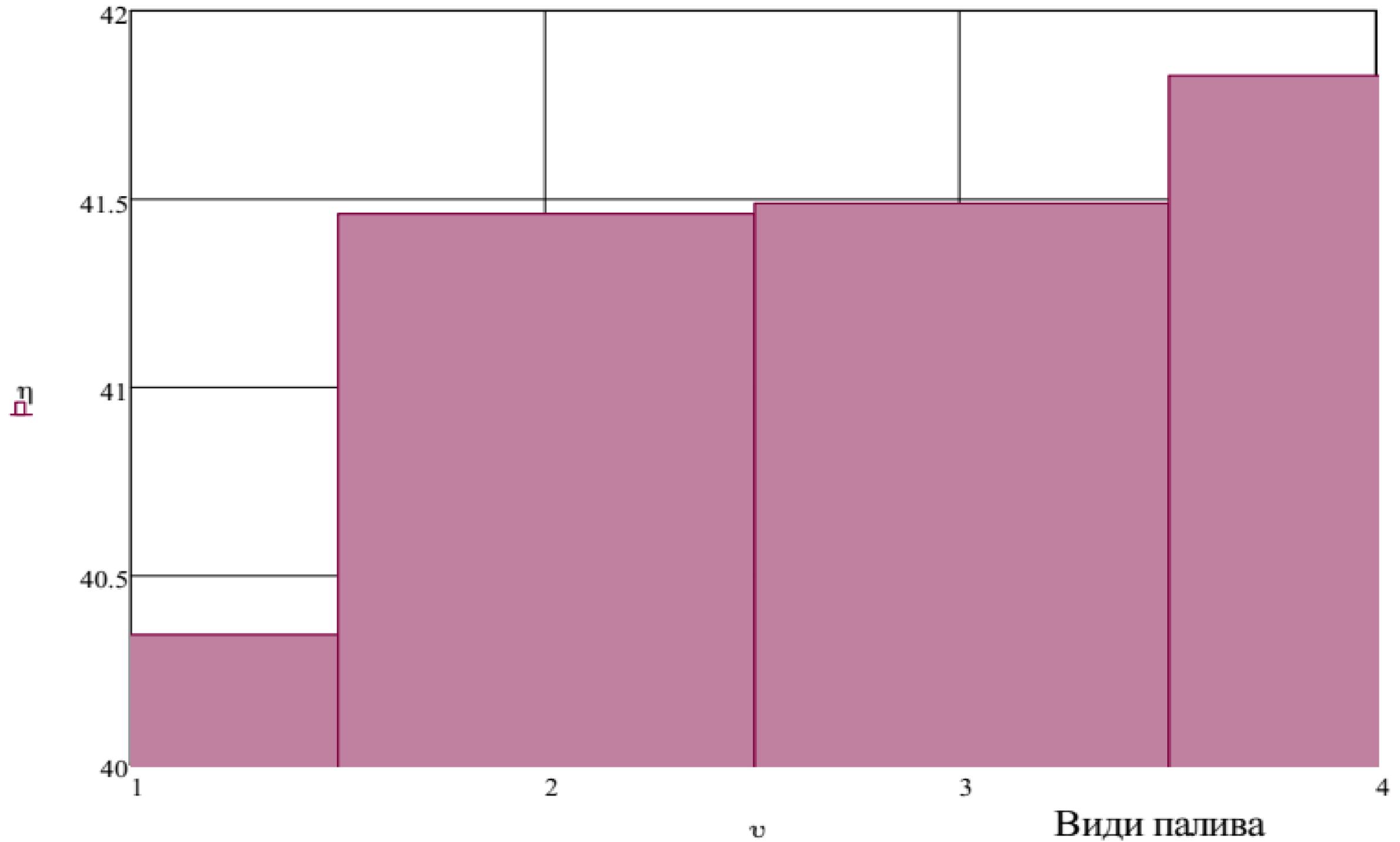
Витрата палива, кг/год



1 - мазут; 2 - лущиння соняшника; 3 - пелети деревні; 4 - вугілля кам'яне

# Зміна ККД топки при роботі на різних видах палива

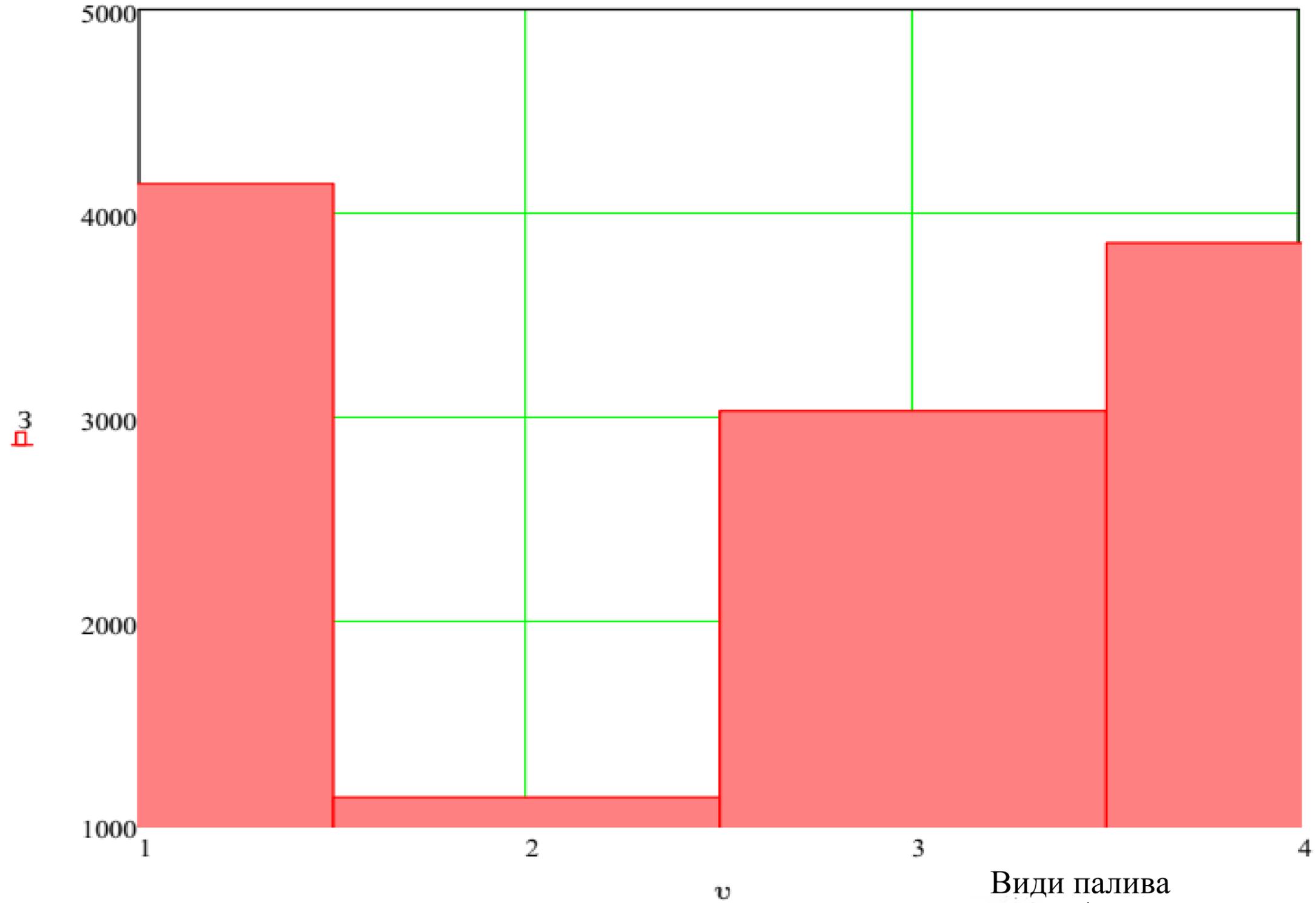
Коефіцієнт корисної дії



1 - мазут; 2 - лушпиння соняшника; 3 - пелети деревні; 4 - вугілля кам'яне

# Годинні затрати на паливо для сушарки СЗ-16ПМВ

Затрати на паливо, грн/год



1 - мазут; 2 - лушпиння соняшника; 3 - пелети деревні; 4 - вугілля кам'яне

Первинне застосування

Додатковий №

Підп. і дата

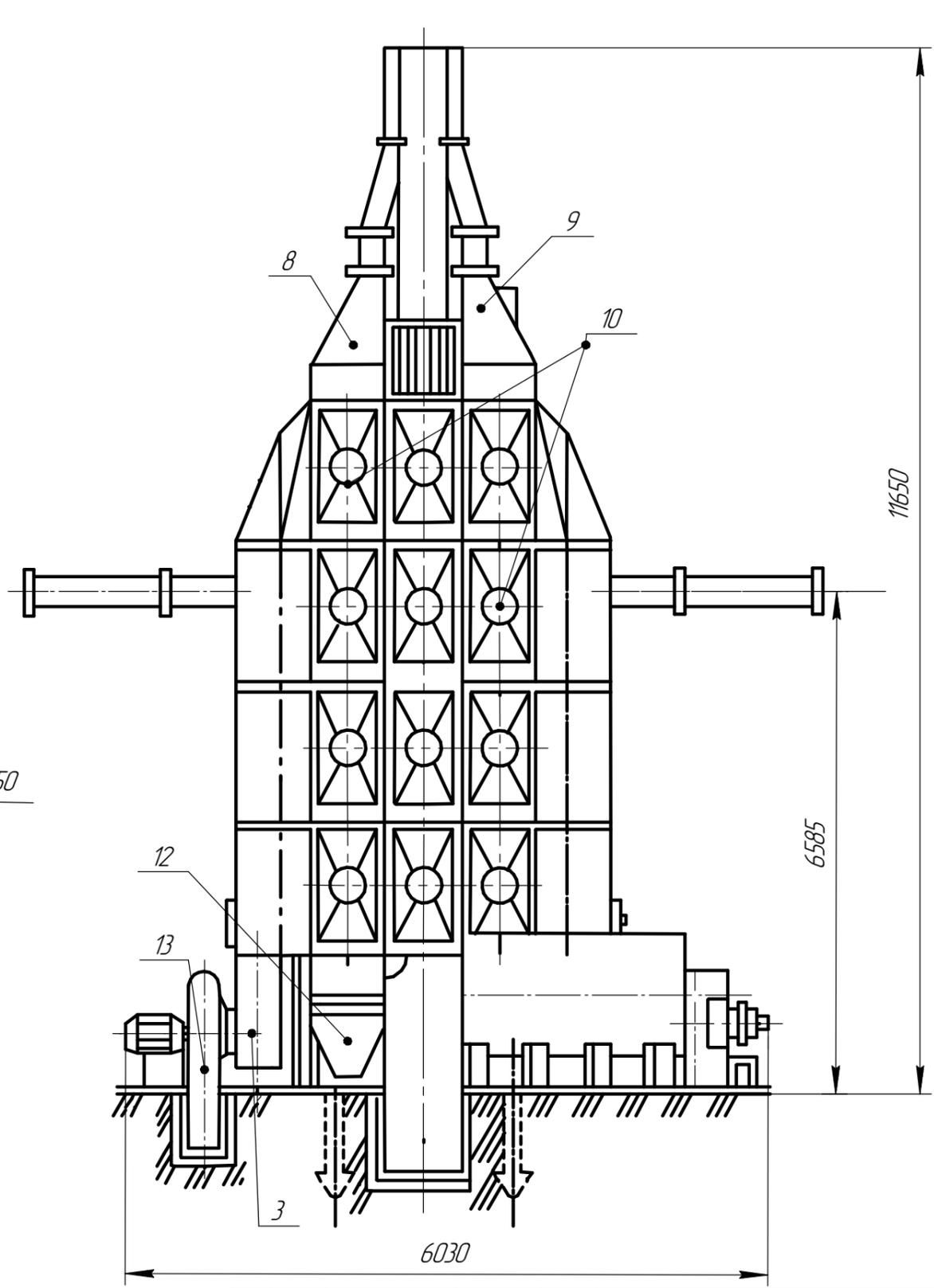
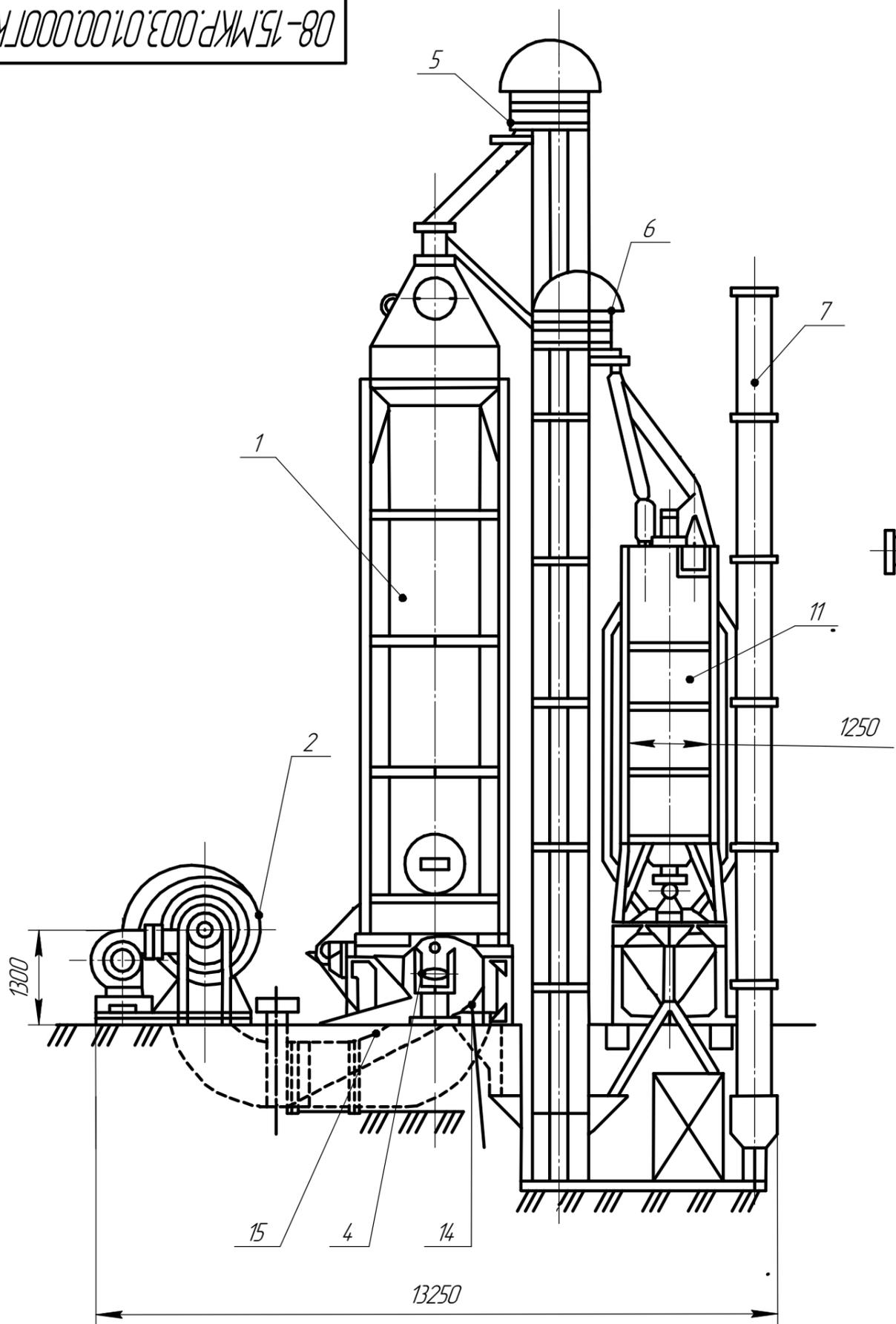
Зам. інв. №

Інв. №

Підп. і дата

Інв. № ор.

08-15.МКР.003.01.00.000ГК



Технічні характеристики  
 Висхідність: G=20 т/год;  
 Маса: М=12 т;  
 Температура теплоносія: t=70 °С;  
 Паливо: мазут.

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата
Розроб.		Котуханський Я.І.		
Перев.		Співак О.Ю.		
Т.контр.				
Опонент		Христич О.В.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Затверд.		Степанов Д.В.		

08-15.МКР.003.01.00.000ГК

Сушарка колонкова

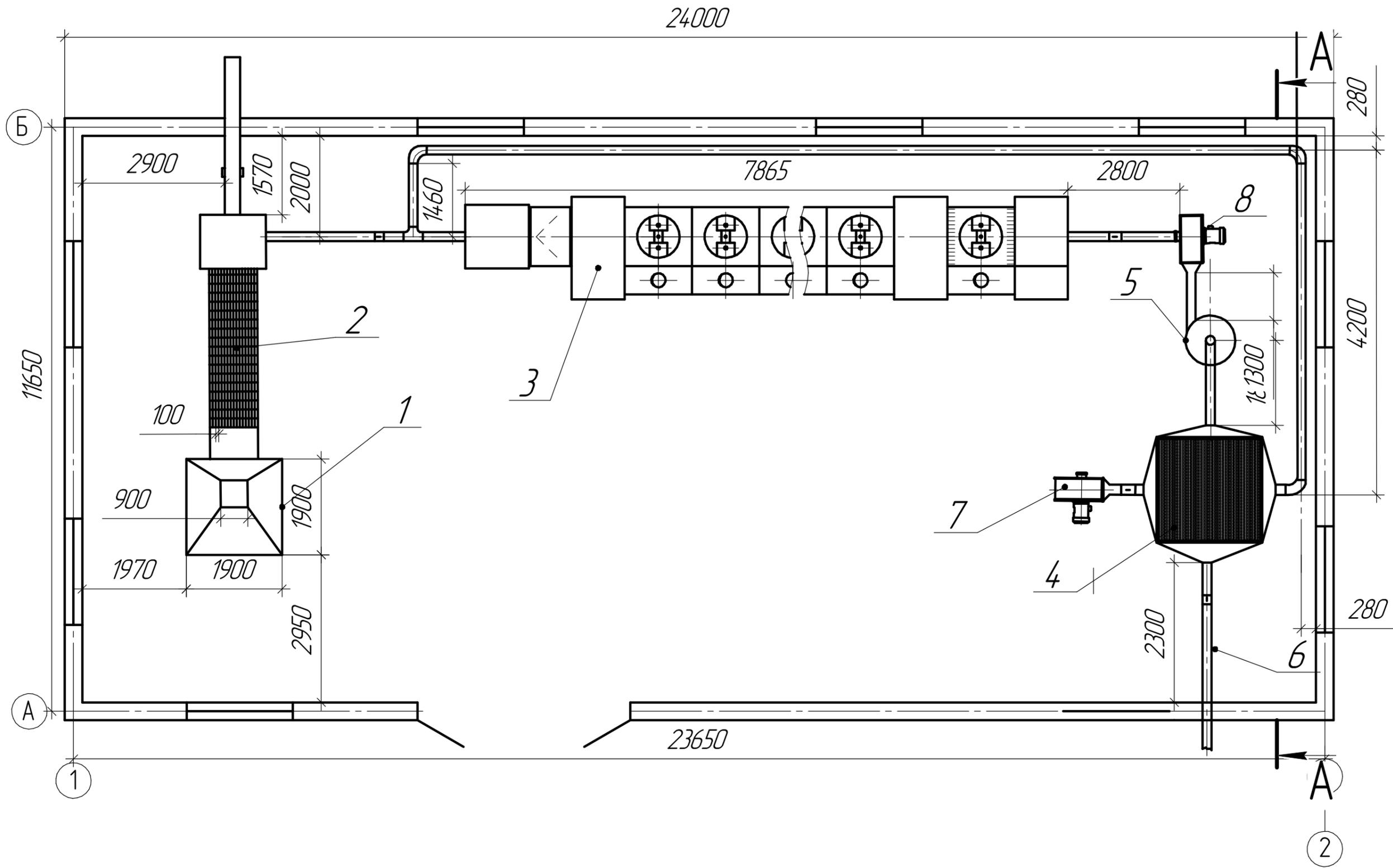
Креслення габаритне

Літ.	Маса	Масштаб
М К Р		1:30
Арк.	Аркцив	1

ВНТУ, гр. ТЕ-24М

Копіював

Формат А3



Погоджено:

Зам. №	
Підп. і дата	
№ об. № ор.	

						08-15.МКР.003.02.00.000АР			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Енергозбереження в колонкових сушарках та критерії оцінювання їх ефективності	Стадія	Аркцш	Аркцшів
Розробив			Котжанський Я.				МКР		1
Перевірив			Слівак О.Ю.						
Т. контролер									
Опонент			Христинч О.В.						
Н. контролер			Слівак О.Ю.						
Затвердив			Степанов Д.В.						
План сушильного цеху							ТЕ-24м		



Календарний план монтажу

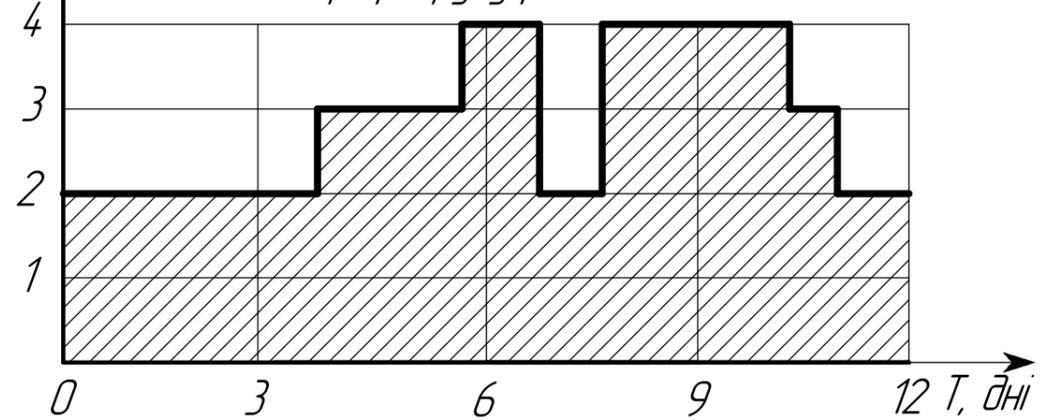
№ п/п	Найменування робіт	Одиниця виміру	Об'єми	Норма часу люд./год	Трудоємність люд./дні	Склад бригад	Кількість чоловік	Тривалість	Листопад														
									Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Пн	Вт	Ср		
1	Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	4,4	3,1	1,7	Робітник, Водій	2	0,85	2x0,85														
2	Розмітка місць прокладання повітропроводів	100м	0,36	1,3	0,06	Слюсар 4 і 1 розрядів	2	0,03	2x0,03														
3	Монтаж теплообмінника	шт	1	22,64	2,83	Слюсар 3 і 4 розрядів	2	1,41		2x1,41													
4	Монтаж вентилятора Вц 4-75 №4	шт	1	15,91	1,98	Монтажник 3 і 4 розрядів	2	0,99			2x0,99												
5	Монтаж батареї циклонів	шт	1	7,12	0,89	Монтажник 2-3 і 4 розрядів	3	0,3				3x0,3											
6	Монтаж вентилятора ВР 80-75 №12	шт	1	25,2	3,15	Монтажник 2-3 і 4 розрядів	3	1,05				3x1,05											
7	Прокладання повітропроводів діаметром 500 мм	100 м <sup>2</sup>	0,464	95,78	5,55	Слюсар 2-4 і 2-1 розрядів	4	1,39					4x1,39										
8	Встановлення трійників, заслонок і відводів	100 шт	0,11	12	0,165	Слюсар 4 і 1 розрядів	2	0,08						2x0,08									
9	Ізоляція повітропроводів	10м <sup>2</sup>	4,64	30,56	17,7	Слюсар 2-2 і 2-4 розрядів	4	4,43								4x4,43							
10	Перше робоче випробування окремих частин	10м	3,56	5,4	2,4	Слюсар-сантехнік 1-5 і 2-3 розрядів	3	0,8													3x0,8		
11	Робоча перевірка системи в цілому	10м	3,56	2,9	1,29	Слюсар-сантехнік 5 і 3 розрядів	2	0,64														2x0,64	
12	Остаточна перевірка системи і здача в експлуатацію	10м	3,56	2,4	1,06	Слюсар-сантехнік 5 і 3 розрядів	2	0,53														2x0,53	
13	Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,055	3,1	0,21	Робітник, Водій	2	0,1															2x0,1

Графік роботи машин та механізмів

Ford Cargo 1826	0,85																					0,1	люд./дні
Toyota 8FGJ35			7																				год
Makita HR 5001C			5									5											год
IGBT Dnipro-M SAB			2,5									2,5											год

R, роб

Графік руху робітників



Техніко-економічні показники графіку руху робітників

№	Позначення	Формула	Результат	Од. виміру
1	Q <sub>зоз</sub>	Q <sub>i</sub>	38,985	люд./дні
2	T <sub>зоз</sub>	-	12,6	дні
3	R <sub>max</sub>	-	4	люд.
4	R <sub>сер</sub>	Q <sub>зоз</sub> /T <sub>зоз</sub>	3,09	люд.
5	T <sub>вст</sub>	-	1,3	дні
6	±1	R <sub>сер</sub> /R <sub>max</sub>	0,772	-
7	±2	T <sub>вст</sub> /T <sub>зоз</sub>	0,104	-

08-15.МКР.003.04.00.000 АР

м. Вінниця

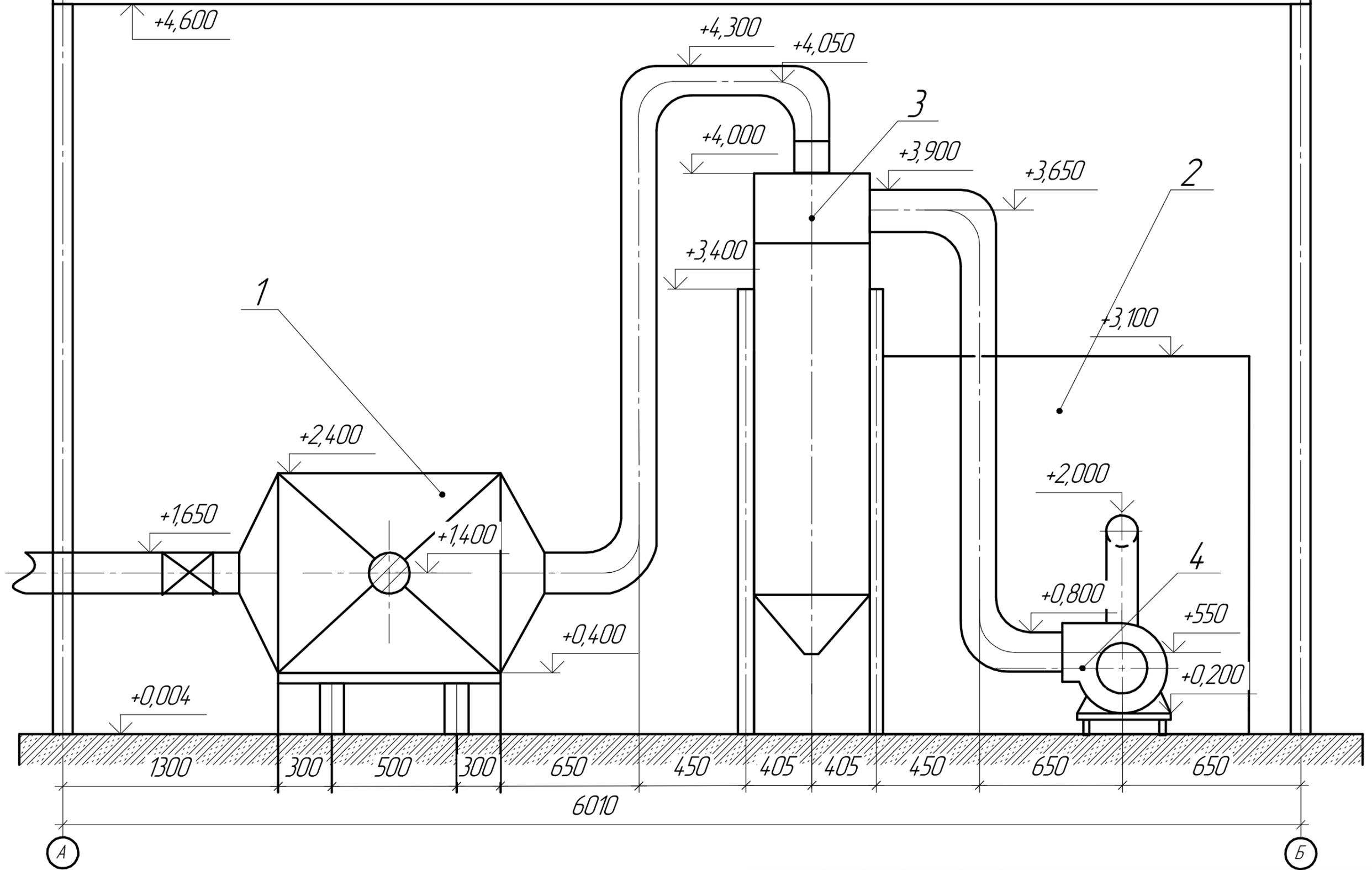
Зм.	Кільк.	Арк. № док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркцш	Аркцшів
Розробив		Котжанський Я.			Енергозбереження в колонкових сушарках та критерії оцінювання їх ефективності	МКР	1
Перевірив		Слівак О.Ю.					
Т. контролер					Календарний план		ТЕ-24М
ОпONENT		Христинч О.В.					
Н. контролер		Слівак О.Ю.					
Затвердив		Степанов Д.В.					

Погоджено:

Зам. інв. №

Підп. і дата

інв. № оп.



Погоджено:

Зам. №

Підп. і дата

№ об. оп.

						08-15.МКР.003.05.00.000.АР			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Енергозбереження в колонкових сушарках та критерії оцінювання їх ефективності	Стадія	Аркцш	Аркцшів
Розробив		Котжанський Я.					1:1		1
Перевірив		Слівак О.Ю.							
Т. контролер									
Опонент		Христинч О.В.							
Н. контролер		Слівак О.Ю.							
Затвердив		Степанов Д.В.							
Розріз А-А							ТЕ-24М		

08-15.МКР.003.00.00.000А2

Первинне застосування

Додатковий №

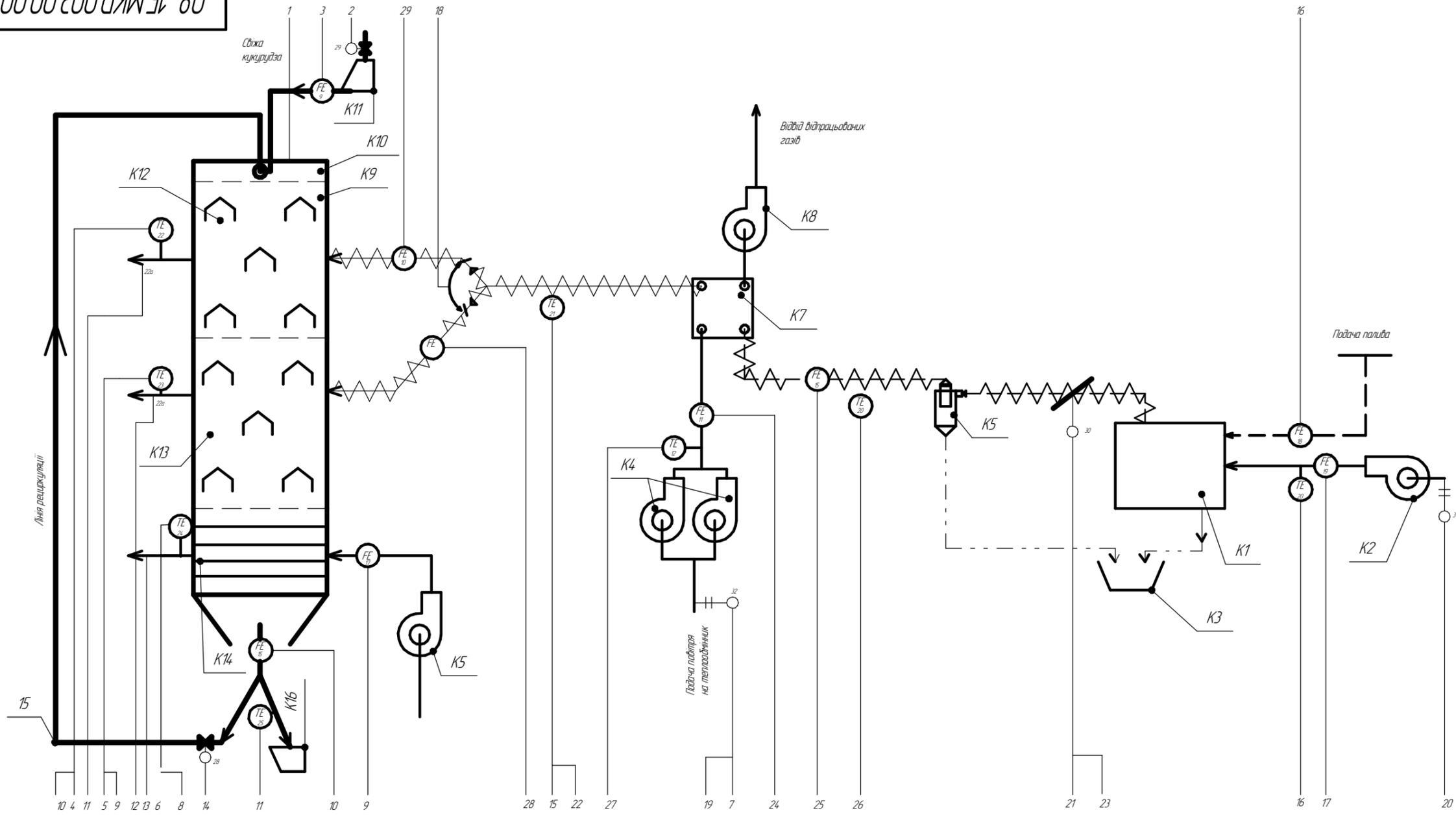
Підп. і дата

Інв. № докл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

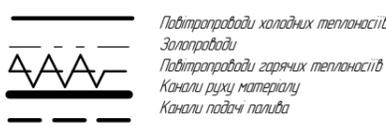
Інв. № оп.



Прилади по місцю	1, 2, 3, 4, 7, 5, 6, 8, 9, 14, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
Прилади на щиті	1, 2, 3, 4, 7, 5, 6, 8, 9, 14, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
Прилади ЕОМ	Монітор управл. ПК

Умовні позначення

- K1 - Топка для спалювання твердого палива
- K2 - Вентилятор первинного підігр. ВДН-9 з ел. д.в. АИР 112М16 №=5 кВт п=980 об/хв.
- K3 - Бункер збору зали V=3,4 м<sup>3</sup>
- K4 - Вентилятор агента сушіння ВЦ4-76-10Ж з ел.д.в. №=4,5 кВт п=1140 об/хв.
- K5 - Вентилятор Ц4-76 №12 протв. обертання з №=4,5 кВт
- K6 - Циклон очиски газів
- K7 - Компактний теплообмінник
- K8 - Вентилятор ВЦ4-76-10Ж з ел.д.в. №=4,5 кВт п=1140 об/хв.
- K9 - Перший ступінь сушарки
- K10 - Розривний шнек
- K11 - Норія свіжої кукурудзи
- K12 - Розривний пристрій
- K13 - Другий ступінь сушарки
- K14 - Зона охолодження
- K15 - Норія рециркуляції кукурудзи
- K16 - Норія завантаження в бункер зберігання готового продукту



08-15.МКР.003.06.00.000А2

Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата
Разроб.	Котюжанський Я.І.			
Перев.	Співак О.Ю.			
Т.контр.				
Опонент	Христич О.В.			
Н.контр.	Співак О.Ю.			
Затверд.	Степанов Д.В.			

Схема автоматизації колонкової зерносушарки "СЗ-16ПМВ" функціональна

Літ.	Маса	Масштаб
М К Р		БМ
Арк.	Аркциів	1

ВНТУ, гр. ТЕ-24М

Копіював

Формат А3