

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:

«Тепломасообмінні процеси в конвективних стрічкових сушарках»

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


_____ Педченко Н.С.
(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
_____ Христин О.В.
(прізвище та ініціали)

« 15 » _____ грудня _____ 2025 р.

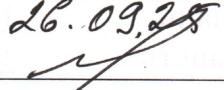
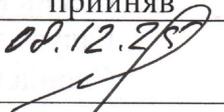
Допущено до захисту
Зав. кафедри ТЕ


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

« _____ » _____ 2025 р.

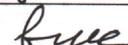
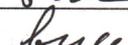
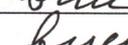
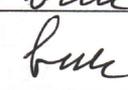
Вінниця ВНТУ – 2025 рік

6. Консультанти розділів роботи

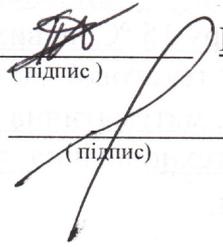
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Співак О. Ю., доцент кафедри ТЕ	26.09.25 	08.12.25 
Економічна частина	Лялюк О. Г., доцент кафедри БМГА		

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	
Розробка математичної моделі сушарки	15.10.2025	
Аналітичні і 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  Педченко Н.С.

Керівник роботи  Співак О.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33

Педченко Н.С. Тепломасообмінні процеси в конвективних стрічкових сушарках. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – «Теплоенергетика», освітня програма - теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 101 с.

Бібліогр.: 45 назв; рис.: 11; табл. 16.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконані дослідження впливу різних чинників оточуючого середовища на ексергетичний к.к.д. стрічкової сушарки. Розроблені заходи для підвищення її енергоефективності та економії паливних ресурсів без зниження якості готової продукції.

На базі ексергетичного балансу розроблено математичну модель для оптимізації процесу сушіння. Виконано числові експерименти для визначення чинників, які найбільше впливають на теплові втрати в сушарці.

Розроблено заходи з монтажу додаткового обладнання при модернізації сушарки, складено календарний графік робіт.

Розроблена схема автоматизації модернізованої сушарки, розраховано варіатори руху стрічок.

Обраховано затрати на модернізацію, термін окупності, та економічну привабливість інноваційного проєкту.

Ключові слова: сушіння, стрічкова сушарка, ексергія, ексергетичний баланс, енергоефективність.

ABSTRACT

Pedchenko N.S. Heat and mass transfer processes in convective belt dryers. Master's qualification work in specialty 144 - "Heat power engineering", educational program - heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 101 p.

Bibliography: 45 titles; Fig.: 11; Table. 16.

In the master's qualification work, studies of the influence of various environmental factors on the exergy efficiency of a belt dryer were carried out. Measures were developed to increase its energy efficiency and save fuel resources without reducing the quality of the finished product.

Based on the exergy balance, a mathematical model was developed for optimizing the drying process. Numerical experiments were performed to determine the factors that most affect heat losses in the dryer.

Measures for the installation of additional equipment during the modernization of the dryer have been developed, a work schedule has been drawn up.

An automation scheme for the modernized dryer has been developed, belt motion variators have been calculated.

The costs of modernization, the payback period, and the economic attractiveness of the innovative project have been calculated.

Keywords: drying, belt dryer, exergy, exergy balance, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ ККД ТА ЕКСЕРГІЯ ПАЛИВА	7
1.1 Основи ексергетичного аналізу.....	7
1.2 Ексергія матеріальних потоків	10
1.3 Ексергія різних видів палива	12
1.4 Ексергія сушильного агента	12
2 ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ	16
2.1 Ексергетичний баланс сушарки і його складові.....	16
2.2 Математична модель сушарки для ексергетичного аналізу.....	17
3 ЧИСЛОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	23
4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	29
4.1 Технологія монтажу	29
4.1.1 Характеристика об'єкту. Формування мети монтажу.....	29
4.1.2 Документація, необхідна для монтажу системи	31
4.1.3 Комплектування та розрахунки основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей	32
4.1.4 Об'єми і склад робіт.....	38
4.1.5 Вибір і обґрунтування типів машин, пристосувань і конструкцій механізмів, методів виконання робіт,	40
4.1.6 Монтаж циклона	40
4.1.7 Монтаж теплообмінника	41
4.1.8 Монтаж відцентрового вентилятора	41
4.1.9 Монтаж повітропроводів.....	42
4.1.10 Підбір обладнання та розрахунок витрат ресурсів	42
4.1.12 Трудомісткість монтажних робіт.....	45
4.1.13 Склад бригад.....	49
4.1.14 Облаштування робочих місць та приміщень для побутових потреб.....	50

4.1.15	Монтажне регулювання і здавання систем до експлуатації	51
4.1.16	Техніка безпеки під час виконання монтажних робіт	52
4.2	Автоматизація модернізованої стрічкової сушарки.....	54
4.2.1	Вимоги до роботи стрічкових сушарок	54
4.2.2	Аналіз можливостей автоматичного управління процесом сушіння в стрічкових сушарках	55
4.2.3	Вибір основного регульованого параметра	56
4.2.4	Обґрунтування завдання.....	58
4.2.5	Особливості автоматизації сушильного комплексу	59
4.2.6	Організація управління сушаркою на основі системного підходу	61
4.2.7	Системи автоматичного регулювання параметрів (САР)	63
4.2.8	Технологічний захист стрічкової сушарки	66
4.2.9	Технологічний контроль фізичних величин.....	67
4.2.10	Технологічна сигналізація.....	68
4.2.11	Вибір варіатора	69
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	74
5.1	Кошторисна вартість	74
5.2	Показники комерційної ефективності проєкту	90
5.3	Оцінювання економічної ефективності інноваційного проєкту.....	90
5.4	Термін окупності інвестицій	91
	ВИСНОВКИ	94
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	97
	ДОДАТКИ.....	102
	Додаток А (обов'язковий) ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	103
	Додаток Б (обов'язковий) ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	104
	Додаток В (довідниковий) ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	108
	Додаток Г (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	123

ВСТУП

Процес видалення з матеріалу будь-якої її рідини шляхом її випаровування, в результаті чого в матеріалі зростає відносний вміст сухих компонентів називають сушінням [1].

Цей процес широко застосовують у різних видах промисловості. Зараз важко знайти підприємство, де б в технологічній обробці матеріалів не застосовувався процес сушіння. Для збільшення теплоти згорання сушать паливо, сільськогосподарську сировину – для збільшення тривалості зберігання, для полегшення подальшої обробки, для зменшення ваги, зміни фізико – хімічних властивостей. Тому розробки, спрямовані на оптимізацію параметрів процесу сушіння, зниження собівартості і підвищення якості висушеного продукту є **актуальними**.

Головним завданням сучасності є створення високовиробничих та високоекономічних сушильних апаратів та установок, де б застосовувалися нові методи, способи і режими сушіння, які б забезпечували наскрізну автоматизацію усього технологічного процесу.

При проектуванні сушарок прагнуть до розв'язку наступних задач:

- застосування раціональних способів підведення теплоти до висушуваної сировини;
- отримання найкращих техніко – економічних показників за необхідної якості продукту (мінімальні капітальні затрати, мінімальну вартість сушіння, найменші затрати теплоти та електроенергії);
- добиватися мінімізації габаритних розмірів сушильної установки.

Тобто, загальними напрямками інтенсифікації будь-якого сушильного процесу, в тому числі і в стрічкових сушарках, є збільшення поверхні матеріалу, забезпечення рівномірності сушіння, збільшення швидкості теплопередачі, покращення апаратної схеми процесу і використання сушильних агентів високого потенціалу [2].

Стрічкові сушарки є одними з найуніверсальніших конструкцій сушильної техніки. В них можна виробляти сушню найвищої якості з будь-яких продуктів: з фруктів (абрикоси, груші, яблука тощо); з культурних ягід (аронія, виноград, калина, ожина, малина, смородина, суниця, шовковиця), з дикоростучих ягід (кизил, глід, горобина, терен, шипшина чорниці, тощо); з овочів (капуста, морква, перець, баклажани, біле коріння, буряк, цибуля помідори,). Стрічкові сушарки чудово сушать лікарські рослини і пряну зелень, гриби. Основний товарний показник – висока якість виробленої сушні досягається автоматичним підтриманням оптимальних параметрів сушильного агента, а рівномірність висушування – періодичним реверсом напрямку його руху [3]. Але, оскільки сушіння є енергоємним процесом, котрий потребує великих енерговитрат, підвищення енергоефективності сушильного обладнання, енергозбереження при роботі сушарок, використання альтернативних джерел теплоти для теплогенераторів є **актуальним питанням сьогодення.**

Метою роботи є підвищення енергоефективності стрічкової конвективної сушарки, з економією енергоресурсів без зниження якості готової продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання:**

- здійснити аналіз літературних джерел для вибору оптимального варіанта модернізації;
- на підставі ексергетичного балансу розробити математичну модель для оптимізації процесу сушіння і провести числовий експеримент.
- розробити заходи для монтажу обладнання, підбраного з ціллю підвищити збереження енергії при сушінні.

Об'єкт дослідження – тепло- та масообмінні процеси в стрічковій конвективній сушарці.

Предмет дослідження - виявлення закономірностей впливу технологічних і конструктивних параметрів сушарки на оптимізацію процесу сушіння та енергозбереження в конвективних стрічкових сушарках.

Практична цінність роботи полягає у представленні методу рішення реальних проблем шляхом застосування простого обладнання.

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувались числовими методами та аналітичним аналізом літературних джерел, опираючись на велику кількість існуючого матеріалу в даній сфері. Методом математичного моделювання було досліджено реальні процеси без використання експериментальних даних.

Особистий внесок магістранта полягає в розрахунках встановлюваного допоміжного обладнання, складанні математичної моделі, постановці та проведенні числових досліджень.

Апробація роботи. Результат роботи доповідався на міжнародних науково-технічних конференціях та конференціях підрозділів Вінницького національного технічного університету, та опубліковані в таких роботах:

1. Співак О. Ю. Використання сушарок побутового класу для обігрівання присадибних теплиць [Електронний ресурс] / О. Ю. Співак, Н. С. Педченко, Н. О. Ткач // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. Електрон. текст. дані. 2022. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15020>. Дата звернення 27.11.2025 [4].
2. Співак О.Ю. Вплив відносної вологості оточуючого середовища на вологовміст теплоізоляційних матеріалів / О. Ю. Співак, Н. С. Педченко, І. С. Матола // Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/48811>. Дата звернення 27.11.2025 [5].
3. Ткаченко С. Й. Темп охолодження (нагрівання) ньютонівської рідини за умов вільної конвекції / С. Й. Ткаченко, О. Ю. Співак, О. В. Власенко, Н. С. Педченко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві -2022» Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16714> Дата звернення: 27.11.2025 [6].

1 ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ ККД ТА ЕКСЕРГІЯ ПАЛИВА

1.1 Основи ексергетичного аналізу

У сучасному науковому трактуванні ексергією термодинамічної системи називають максимальну роботу, яку система виконує в оборотному процесі з початкового стану в стан повної рівноваги з оточуючим середовищем. Стан повної рівноваги з оточуючим середовищем означає рівність всіх енергетичних потенціалів і відсутність будь-яких потоків [7].

Ексергетичний аналіз є ефективним способом аналізу та оптимізації теплоенергетичних та теплотехнологічних систем.

Ступінь досконалості незворотних процесів характеризують ексергетичні втрати, які поділяються на зовнішні, пов'язані з тепловими і матеріальними втратами, і внутрішні, пов'язані з незворотністю процесів, які відбуваються в системі.

Ексергія системи в якомусь конкретному стані вимірюється кількістю механічної або іншої повністю перетвореної енергії, яка може бути отримана від системи внаслідок її оборотного переходу з даного стану в стан рівноваги із навколишнім середовищем. Ту частину енергії системи, яку не можна перетворити на організовану енергію, називають анергією [8].

Таким чином, коли визначають ексергію, як об'єкт розглядають, перш за все, саму систему, потім довкілля і, нарешті, зовнішні об'єкти з навколишнього середовища, які могли б бути джерелом або приймачем енергії. Як і енергія, ексергія системи, у кожному даному стані повинна мати фіксовані значення.

Коли система взаємодіє з довкіллям можуть проходити як оборотні (ідеальні процеси), так і незворотні (реальні процеси). У ідеальних оборотних процесах отримують роботу, яка рівнає спаду ексергії. У реальних процесах робота буде меншою за спад ексергії, тому що частина ексергії зникне, її буде втрачено.

Таким чином, якщо взаємодія системи та навколишнього середовища

протікає незворотно зі зростанням ентропії, то ексергія систем буде зменшуватися. Зіставлення властивостей ексергії і енергії представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості енергії і ексергії

№	Енергія	Ексергія
1	Залежатиме тільки від параметрів системи і не залежатиме від характеристик оточуючого середовища	Залежатиме і від параметрів системи, і від характеристик оточуючого середовища
2	Завжди матиме значення, відмінне від нуля	Може мати значення, рівне нулю (за повної рівноваги параметрів системи та довкілля)
3	Відповідає закону збереження енергії для будь-яких процесів та не може знищуватися	Підкоряється закону збереження тільки якщо процеси оборотні; у реальних незворотних процесах знищується повністю або частково
4	Перехід одних форм на інші обмежено по умовах другого закону термодинаміки для любого процесу, у тому числі і оборотного	Перехід одних форм на інші не обмежено, з умов другого закону термодинаміки для оборотних процесів

Розглянемо якусь технічну систему (Рис.1.1)

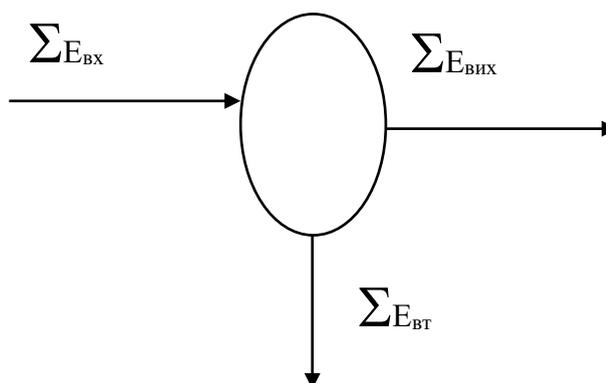


Рисунок 1.1 – Ексергетичний баланс системи

Рис.1.1 показує різницю значення загальних величин ексергії $\Sigma E_{вх}$, що вводять в систему (наприклад, сушарку) і величин ексергії, яку виводять з неї $\Sigma E_{вих}$ визначають як сумарна величина $\Sigma E_{вт}$ необоротних втрат в системі

$$\sum E_{\text{вх}} - \sum E_{\text{вих}} = \sum E_{\text{вт}} \geq 0. \quad (1.1)$$

Тільки в оборотних процесах $\sum E_{\text{вх}} = \sum E_{\text{вих}}$, а $\sum E_{\text{вт}} = 0$, оскільки дисипація енергії відсутня.

У цьому ексергія аналогічна ентропії, зростання якої для замкнутої системи відображатиме втрати від незворотності. Однак практичні переваги ексергії полягають в тому факті, що зменшення її дає значення втрат енергії, яку перетворюють – як абсолютне, так і відносне одночасно.

Втрати ексергії визначаються за формулою Гюї-Стодоли

$$E_{\text{вт}} = T_0 \Delta S, \quad (1.2)$$

де ΔS – зміна ентропії системи, $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{К}} \right)$;

T_0 – температура навколишнього середовища, (К).

Відомо, що ексергія системи залежить від параметрів (як правило, температури) навколишнього середовища. Тому в кожному конкретному розрахунку необхідно вказувати, що прийнято за навколишнє середовище.

Відношення корисно використовуваної ексергії до витраченої називають ексергетичним коефіцієнтом корисної дії, котрий відображає досконалість термодинамічного циклу

$$\eta_{\text{екс}} = \frac{\sum E_{\text{вих}}}{\sum E_{\text{вх}}} = \frac{\sum E_{\text{вх}} - \sum E_{\text{вт}}}{\sum E_{\text{вх}}} = 1 - \frac{\sum E_{\text{вт}}}{\sum E_{\text{вх}}} = 1 - \varphi, \quad (1.3)$$

де $\varphi = E_{\text{вт}}/E_{\text{вх}}$ – коефіцієнт ексергетичних втрат.

Основні причини ексергетичних втрат і зменшення ексергетичного ККД зумовлені такими явищами. Зовнішні ексергетичні втрати викликані потоками

речовини, що виносять ексергію з системи. Внутрішні втрати відбуваються в результаті теплообміну при кінцевій різниці температур, або масообміну при кінцевій різниці концентрацій, внаслідок механічного тертя і гідравлічного опору, хімічних реакцій в нерівноважних умовах, зменшення магнітного або електричного поля під дією електричного опору тощо.

Аналіз ефективності протікаючих процесів і роботи такого обладнання необхідно виконувати на основі складання ексергетичного балансу, який полягає в розрахунку ексергії матеріальних потоків і ексергетичних втрат. При складанні такого балансу дуже важливо ясно уявити границю досліджуваної системи (процесу, установки в цілому або окремої її частини) і визначити місця, де ексергетичний потік перетинає цю границю [9].

1.2 Ексергія матеріальних потоків

Розглянемо розрахунок ексергії матеріальних потоків, котрі мають місце в процесах, що використовують теплоту, в тому числі сушильних установках.

Спробуємо порівняти властивості ентальпії h і ексергії e потоку, розглянувши їх як функції незалежних змінних P і S . результати порівняння зведемо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Ентропія та ексергія потоку

Ентальпія потоку	Ексергія потоку
$dh = TdS + VdP$	$de = (T - T_{oc})dS + VdP$
$\left(\frac{\partial h}{\partial S}\right)_P = T$	$\left(\frac{\partial e}{\partial S}\right)_P = T - T_{oc}$
$\left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_S = V$	$\left(\frac{\partial e}{\partial P}\right)_S = V$

Порівняння виразів в обох колонках показує, що обидві функції h і e дають енергетичні характеристики потоків речовини.

Коли ентальпія змінюється, то dh при $P = \text{const}$ дає кількість теплоти $\delta q =$

TdS , котра проходить через контрольні поверхні системи. Змінювання ексергії de за аналогічних умов характеризує також теплоту, але така теплота тільки рівна роботі, котра за ідеального випадку могла б бути отримана під час використання даної теплоти: $\partial \ell = \partial q - T_{oc} \cdot dS$. Зміна як ентальпії h , так і ексергії e за $S = \text{const}$ дає за обох випадків те саме значення VdP , яка дорівнює роботі при зміні тиску в потоці робочого тіла [9].

Сумарний диференціал ентальпії dh дасть зміни енергії потоку через як термічні, так і механічні впливи через межі системи. Сумарний диференціал ексергії de також зв'язаний з цим видом впливу, але дає величини тільки тієї корисної енергії, яку можна перетворити на роботу.

Тоді, змінювання ентальпії h відображатиме енергетичне перетворення в потоках речовини без врахування обмежень, які накладає другий закон термодинаміки за умов, коли взаємодіє з оточуючим середовищем, а зміна ексергії e враховує ці обмеження. Отже, ексергія e є термодинамічним потенціалом особливого виду, пов'язаним із параметрами оточуючого середовища.

Питома ексергія потоку речовини (сушильного агента), склад якого не змінюється, матиме вигляд (кДж/кг)

$$e = h - h_0 - (S - S_0) \cdot T_0, \quad (1.4)$$

де h – ентальпія потоку речовини, кДж/кг;

S – ентропія потоку речовини, кДж/(кг·К);

h_0 – ентальпія потоку речовини в стані рівноваги з оточуючим середовищем, кДж/кг.

S_0 – ентропія потоку речовини в стані рівноваги з оточуючим середовищем, кДж/(кг·К).

Отримавши значення ексергії для різних видів енергії, можна перейти до складання ексергетичних балансів для системи та окремих її елементів, розрахунку ексергетичних ККД, визначення відносних і абсолютних втрат ексергії в них, що дозволяє визначити основні шляхи вдосконалення як окремих елемен-

тів, і у цілому системи.

1.3 Ексергія різних видів палива

Питому ексергію палива можна визначити за формулами, запропонованими З. Рантом [9]:

– для рідкого палива, з більше як одним атомом вуглецю в молекулі

$$e_0 = 0,975 \cdot Q_B^P; \quad (1.5)$$

– для твердих палив з обов'язковим врахуванням їх вмісту води

$$e_0 = Q_B^P \cdot (1 - u); \quad (1.6)$$

– для газоподібного палива, з більше як одним атомом вуглецю в молекулі

$$e_0 = 0,95 \cdot Q_B^P; \quad (1.7)$$

– для коксового і світильного газів та метану

$$e_0 = Q_H^P; \quad (1.8)$$

де Q_H^P , Q_B^P – нижча і вища теплота згоряння палива, кДж/кг.

Точніше ексергію палива можна визначити за методом Я. Шаргута [7].

1.4 Ексергія сушильного агента

В якості сушильного агента широко застосовується атмосферне повітря після підігріву в калорифері (нагрівачі). Повітря завжди містить деяку кількість водяної пари, чисто сухим воно не буває. Ексергію вологого повітря можна

представити у вигляді суми ексергій водяної пари і сухого повітря [10]

$$e_{\text{вл.п}} = e_{\text{с.п}} + d \cdot e_{\text{п}}, \quad (1.9)$$

де $e_{\text{п}}$, $e_{\text{с.п}}$ і $e_{\text{вл.п}}$ – ексергія водяної пари відповідно, сухого і вологого повітря, $\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$;

d – вологовміст повітря, $\left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}}\right)$.

Ексергію вологого повітря можна визначити за рівнянням

$$e_{\text{вл.п}} = c_{\text{с.п}} \cdot (t - t_0) + d \cdot [h_{\text{п}} - h_{\text{п0}} - T_0 \cdot (S_{\text{п}} - S_{\text{п0}})] - \left[c_{\text{с.п}} \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_{\text{с.п}} \cdot \ln \frac{p - \varphi \cdot p_{\text{н}} \cdot (t)}{p_0 - \varphi_0 \cdot p_{\text{н}} \cdot (t_0)} \right] \cdot T_0, \quad (1.10)$$

де p , p_0 – повний тиск повітря в потоці і оточуючому середовищу, Па;

$c_{\text{в.с}}$ – теплоємність сухого повітря, кДж/(кг·К);

$R_{\text{с.п}}$ – газова стала сухого повітря, кДж/(кг·К);

φ , φ_0 – відносна вологість повітря в потоці і оточуючому середовищі;

T , T_0 – температура потоку теплоносія і оточуючого середовища, К;

$h_{\text{п}}$, $S_{\text{п}}$ – ентальпія (кДж/кг) і ентропія [кДж/(кг·К)] водяної пари за заданих параметрів потоку;

$h_{\text{п0}}$, $S_{\text{п0}}$ – ентальпія і ентропія водяної пари за заданих параметрів оточуючого середовища.

$p_{\text{н}}(t)$, $p_{\text{н}}(t_0)$ – тиск насичення водяної пари за температур потоку і навколишнього середовища, Па;

Якщо розглядати вологе повітря як суміш двох ідеальних газів, то його ексергію визначають так

$$e_{\text{вл.п}} = c_{\text{вл.п}} \cdot (t - t_0) - \left[c_{\text{вл.п}} \cdot \ln \frac{T}{T_0} - \frac{\chi \cdot R_{\text{п}}}{1 + \chi} \cdot \ln \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{п0}}} - \frac{R_{\text{с.п}}}{1 + \chi} \cdot \ln \frac{p_{\text{с.п}}}{p_{\text{с.п0}}} \right] \cdot T_0, \quad (1.11)$$

де $c_{\text{вл.п}}$ – теплоємність вологого повітря, $c_{\text{вл.п}} = c_{\text{с.в}} + dc_{\text{п}}$, кДж/(кг·К);

$c_{\text{п}}$ – теплоємність пари, кДж/(кг·К);

$p_{\text{с.п}}$, $p_{\text{п}}$ – парціальний тиск сухого повітря і водяної пари відповідно, Па;

$R_{\text{п}}$ – газова стала водяної пари, кДж/(кг·К);

$p_{\text{с.п0}}$, $p_{\text{п0}}$ – парціальний тиск абсолютно сухого повітря і водяної пари в оточуючому середовищі, відповідно, Па.

Вода і водяна пара широко використовуються в теплоенергетичних установках. Їх ексергію визначають так

$$e_{\text{п}} = c_{\text{ж}} \cdot (t - t_0) - \left[c_{\text{ж}} \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_{\text{п}} \cdot \ln \frac{1}{\phi_0} \right] \cdot T_0, \quad (1.12)$$

де ϕ_0 – відносна вологість оточуючого середовища;

$c_{\text{ж}}$ – теплоємність води, кДж/(кг·К).

Ексергія продуктів згоряння

$$e_{\text{г}} = e_{\text{т}} + e_{\text{п}} + e_{\text{с}} \quad (1.13)$$

де $e_{\text{т}} = c_{\text{рп.с}} \cdot (t - t_0) - T_0 \cdot c_{\text{рп.с}} \cdot \ln \frac{T}{T_0}$;

$$e_{\text{п}} = T_0 \cdot R_{\text{п.с}} \cdot \ln \frac{p}{p_0}.$$

e_0 , $e_{\text{т}}$ – хімічна і термічна складові ексергії продуктів згоряння, кДж/кг;

$e_{\text{п}}$ – ексергія, що виникає через різницю тисків продуктів згоряння і тиску навколишнього середовища;

$c_{\text{рп.с}}$ – ізобарна теплоємність димових газів (продуктів згоряння), кДж/(кг·К);

$R_{\text{п.с}}$ – газова стала продуктів згоряння, кДж/(кг·К).

При розрахунку термічної ексергії продуктів згоряння використовують середньотемпературні теплоємності компонентів в інтервалі від теоретичної температури горіння до температури навколишнього середовища

$$\frac{e_0}{T} = \sum_i \frac{m_i^0}{m_{\text{п.с}}^0} \ln \frac{p_i^0}{p_{\text{ср}}^0} \quad (1.14)$$

де $m_{\text{п.с}}^0$ – відносна маса продуктів згоряння, кг/кг;

m_i^0 – відносна маса окремих компонентів продуктів згоряння, кг/кг;

c_{pi} – середня ізобарна теплоємність окремих (і-тих) компонентів продуктів згоряння, кДж/(кг·К);

Хімічна ексергія e_0 показує величину максимальної роботи, котра може бути отримана за оборотного вирівнювання парціальних тисків компонентів продуктів згоряння і навколишнього середовища. За температури продуктів згоряння 650-700 °С величина e_0 становить 10-12% від e_T [12-14].

Висновки до Розділу 1.

Ексергетичний аналіз є ефективним способом аналізу та оптимізації теплоенергетичних та теплотехнологічних систем. Аналіз теплотехнологічних процесів за ексергетичними характеристиками ефективніший, ніж за тепловими, оскільки оптимізація та інтенсифікація сушильних процесів вимагає не тільки зниження втрат теплоти, а й її результативного використання.

Міру досконалості незворотних процесів характеризують ексергетичні втрати, які поділяються на зовнішні, пов'язані з тепловими і матеріальними втратами, і внутрішні, пов'язані з незворотністю процесів, що відбуваються.

2 ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ

2.1 Ексергетичний баланс сушарки і його складові

Ексергетичний баланс сушальної установки записують так

$$\begin{aligned} & \text{[Illegible mathematical expression]} \\ & \text{[Illegible mathematical expression]} \end{aligned} \quad (2.1)$$

де E_v – ексергія повітря, що надходить в безпосередньо в калорифер чи в топку ($E_v = 0$ при використанні повітря з навколишнього середовища);

$E_{вех}$ – прихід ексергії до повітря у тягодуттьовому пристрої;

$E_{т,п}$ – ексергія палива (або прихід ексергії при використанні електрокалориферів);

$E_{доп}$ – ексергія від додаткових джерел теплоти, встановлених в сушальній камері (додаткових калориферів, тощо);

$E''_{с,а}$ – ексергія відпрацьованого теплоносія на виході з сушарки без врахування випарованої вологи;

ΔE_T – ексергетичні втрати внаслідок незворотності реакцій горіння;

$\Delta E_{см.пр}$ – ексергетичні втрати при змішуванні продуктів згорання зі свіжим повітрям;

ΔE_k – ексергія конденсату на виході з парового калорифера (за його наявності);

$\Delta E_{теп}$ – ексергетичні втрати внаслідок незворотності процесу теплообміну в калорифері;

$\Delta E_{ісп}$ – витрата ексергії на випаровування вологи з матеріалу за відповідної температури випаровування (корисні витрати ексергії в процесі сушіння);

ΔE_M – зміна ексергії сирого матеріалу в процесі сушіння;

$\Delta E_{вл}$ – зміна ексергії тієї вологи, яка пов'язана з нагріванням вологи і пере-

гріванням пари до температури теплоносія на виході з робочої камери;

$\Delta E_{\text{см.вл}}$ – ексергетичні втрати внаслідок незворотності процесу змішування випаруваної вологи з відпрацьованим теплоносієм;

$\Delta E_{\text{внеш}}$ – ексергетичні втрати внаслідок незворотності зовнішнього теплообміну;

$\Delta E_{\text{вн}}$ – ексергетичні втрати викликані незворотністю внутрішнього масоперенесення;

$\Delta E_{\text{гидр}}$ – ексергетичні втрати, внаслідок гідравлічного опору установки;

$\Delta E_{\text{под}}$ – ексергетичні втрати через підсоси зовнішнього повітря;

$\Delta E_{\text{о.с}}$ – ексергетичні втрати в навколишнє середовище через ізоляцію стін;

$\Delta E_{\text{п.н}}$ – ексергетичні втрати, через невраховані ефекти, що залежать від особливостей процесу сушіння, наприклад деформування матеріалу, втрати внаслідок кристалізації солей коли сушать розчини, турбулентності потоків теплоносія при великих пульсаціях швидкості, температури тощо.

Підготовка теплоносія проводиться:

- в електричних або парових калориферах, в котрих здійснюється нагрівання повітря до заданої температури;
- топкових агрегатах за спалювання палива і коли повітря нагрівається в них за допомогою теплообмінників;
- безпосередньому використанні продуктів згоряння, які змішують з атмосферним повітрям для отримання необхідної температури.

2.2 Математична модель сушарки для ексергетичного аналізу

Математична модель сушарки для ексергетичного аналізу містить 22 лінійних рівняння. Така модель є детермінованою, відносно розмірності простору – одновимірною, статичною, структурно-функціональною, відносно зміни параметрів модель дискретна. Модель є оптимізаційною, критерієм оптимізації є тепловологісні параметри процесу сушіння для зниження ексергетичних втрат.

Прихід ексергії з паливом, (кВт)

$$E_T = G_T \cdot e_0, \quad (2.2)$$

де G_T – секундна витрата палива, кг/с;

e_0 – питома ексергія самого палива, кДж/кг.

При розрахунку на 1 кг випаруваної вологи

$$\widehat{E}_T = \frac{G_T \cdot e_0}{W}, \quad (2.3)$$

де W – кількість випаруваної вологи за одиницю часу, кг/с.

Ексергетичні втрати при горінні палива

$$\Delta E_T = E_T \cdot e_{п.с}, \quad (2.4)$$

Питома ексергія продуктів згоряння знаходиться за формулою (1.13). Ексергію теплоносія на виході з сушильної камери визначають як ексергію вологого повітря, при цьому ексергію вологи, яка випарувалася з матеріалу не враховують [8]

$$E'_a = E_a \cdot e'_a \cdot (1 - k) \quad (2.5)$$

де $L'_{с.а}$ – витрата гарячого теплоносія на вході в сушарку, кг/с;

$e'_{с.а}$ – питома ексергія теплоносія на виході з сушарки без врахування випаруваної вологи, кДж/кг;

k – коефіцієнт, який враховує підсос повітря в сушильну камеру.

У формулі (2.5) враховується зміна ексергії сушильного агента, яка викликана підсмоктуванням повітря в сушарку.

При розрахунку на 1 кг випаруваної вологи, значення $E_{п.с}$ часто відносять до різниці вологовмісту продуктів згоряння на виході і вході сушарки ($d'' - d'$).

Ексергетичні втрати при змішуванні продуктів згоряння з повітрям

$$\Delta E_{\text{с.кп}} = E_{\text{тс}} - E_{\text{с.а}} \quad (2.6)$$

де $E'_{\text{с.а}}$ – ексергія сушильного агента на вході в сушильну камеру.

Питомі ексергетичні втрати (кДж/кг) від змішування газів

$$\Delta e_{\text{с.кп}} = \sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{R}{M_i} \ln \frac{p_i}{p_0} \right) \quad (2.7)$$

де m_i – масова частка i -го компонента;

M_i – молекулярна маса i -го компонента;

R – універсальна газова стала.

$M_{\text{см}}$ – уявна молекулярна маса суміші;

Приріст ексергії повітря у вентиляторі

$$E_{\text{квн}} = N \eta \quad (2.8)$$

де η – ККД вентилятора;

N – потужність яку споживає вентилятор, кВт.

Цю ексергію (кВт) можна розрахувати як роботу при ізотермічному розширенні стисненого повітря [9]

$$E_{\text{квн}} = \frac{L_{\text{в}}}{\rho_0} \ln \frac{p}{p_0} \quad (2.9)$$

де p – тиск повітря після вентилятора, Па;

$L_{\text{в}}$ – масова витрата повітря, кг/с;

p_0 – атмосферний тиск, Па;

При нагріванні вологого матеріалу ексергетичні втрати на нагрівання во-
логи в ньому

$$e_{\text{вн.нагр}} = h_{\text{вл}} - h'_{\text{вл}} - T_0(S_{\text{вл}} - S'_{\text{вл}}) = c_{\text{вл}} \cdot (T_{\text{н}} - T_0) - T_0 \cdot c_{\text{вл}} \cdot \ln \frac{T_{\text{н}}}{T_0}, \quad (2.10)$$

де $S_{\text{вл}}$, $h_{\text{вл}}$ – відповідно ентропія і ентальпія вологи в стані насичення за температури мокрого термометра;

$h'_{\text{вл}}$, $S'_{\text{вл}}$ – ті ж параметри за температури сировини на вході в сушарку;

$T_{\text{н}}$ – температура адіабатного насичення.

Корисна витрата ексергії на випаровування вологи

– питома (кДж/кг)

$$\Delta e_{\text{исп}} = h_{\text{п}} - h_{\text{вл}} - T_0(S_{\text{п}} - S_{\text{вл}}) + L_{\text{св}}, \quad (2.11)$$

– загальна, (кВт)

$$\Delta E_{\text{исп}} = \Delta e_{\text{исп}} \cdot W, \quad (2.12)$$

де $S_{\text{п}}$, $h_{\text{п}}$ – ентропія і ентальпія пари в стані насичення за температури $T_{\text{н}}$;

$L_{\text{св}}$ – робота, витрачена на розрив зв'язку вологи з матеріалом.

Питомі ексергетичні втрати на перегрів пари з сировини до температури теплоносія на виході з сушильної камери

$$\Delta e_{\text{вл.пер}} = h_{\text{п.п}} - h_{\text{п}} - (S_{\text{п.п}} - S_{\text{п}}) \cdot T_0, \quad (2.13)$$

де $h_{\text{п.п}}$, $S_{\text{п.п}}$ – відповідно ентальпія і ентропія пари при температурі теплоносія на виході з сушильної камери.

Якщо парціальний тиск пари невисокий

$$\Delta E_{\text{вл.пер}} = \Delta e_{\text{вл.пер}} \cdot W, \quad (2.14)$$

тоді ексергетичні втрати на нагрівання вологи і перегрівання пари

$$\Delta E_{\text{вл}} = (\Delta e_{\text{вл.нагр}} + \Delta e_{\text{вл.пер}}) \cdot W. \quad (2.15)$$

Ексергетичні втрати при змішуванні випаруваної вологи з теплоносієм

$$\Delta E_{\text{см.вл}} = E \cdot \Delta S_{\text{см}} \cdot L_{\text{с.а}} \cdot (1 + d''), \quad (2.16)$$

де $L_{\text{с.а}}$ – витрата теплоносія, кг/с;

d'' – вологовміст теплоносія на виході з сушарки, кг/кг.

Питомий приріст ентропії суміші ідеальних газів

$$\Delta S_{\text{см}} = \frac{M_{\text{с.а}}}{M_{\text{с.п}}} \ln \left(\frac{M_{\text{с.а}} + M_{\text{с.п}}}{M_{\text{с.а}}} \right) + \frac{M_{\text{с.п}}}{M_{\text{с.п}}} \ln \left(\frac{M_{\text{с.а}} + M_{\text{с.п}}}{M_{\text{с.п}}} \right) \quad (2.17)$$

де $M_{\text{с.а}}$, $m_{\text{с.а}}$ – молекулярна маса і масова частка сушильного агента відповідно;

$m_{\text{с.п}}$, $M_{\text{с.п}}$ – масова частка і молекулярна маса пари відповідно.

Приріст термічної ексергії матеріалу

$$\Delta E_{\text{мат}} = G'' \cdot c_{\text{м}} \cdot (\theta'' - \theta') \quad (2.18)$$

де G'' – видатність установки за висушеним матеріалом, кг/с;

$c_{\text{м}}$ – теплоємність готового (висушеного) матеріалу, кДж/(кг·К);

θ'' , θ' – температура самого матеріалу до і після сушіння, К.

Ексергетичні втрати, зумовлені необоротністю внутрішнього масоперенесення, можуть бути визначені методами термодинаміки незворотних процесів. Ці втрати невеликі і зростають з підвищенням рушійних сил переносу, можуть бути відчутними переважно в високотемпературних процесах. Ексергетичні втрати від незворотності зовнішнього теплообміну більші. однак, розрахунок їх досить складний, тому дані втрати ми визначимо як різницю між ексергією теплоносія на вході в камеру і сумою всіх витрат ексергії [14,15].

Ексергетичні втрати зумовлені гідравлічним опором

$$\Delta E_{\text{гид}} = \frac{L_{\text{с.а}}}{\rho} \cdot \left(\frac{1}{D_1} - \frac{1}{D_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \right) \quad (2.19)$$

де p – тиск на виході з апарату, Па.

Δp – гідравлічний опір апарату, Па;

Втрати ексергії в навколишнє середовище

$$Q_{o.c} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (2.20)$$

де $Q_{o.c}$ – теплота, втрачена в навколишнє середовище через теплову ізоляцію, кВт.

Ексергія відхідних газів з врахуванням вологи, що випарувалася в сушильній камері

$$e_{yx} = h'' - h_0 - (S'' - S_0) \cdot T_0. \quad (2.21)$$

В розрахунку застосуємо наближену формулу

$$e_{yx} = c''_{вл.в} \cdot (T'' - T_0) - T_0 \left[c''_{вл.в} \cdot \ln \frac{T''}{T_0} - R \cdot (d'' - d_0) \right]. \quad (2.22)$$

Висновки до Розділу 2.

Ексергетичний аналіз дозволяє досліджувати сушильну установку з врахуванням положень другого закону термодинаміки необоротних процесів і виявляти ланки з найбільшими втратами роботоспроможності сушарки.

Методи ексергетичного аналізу враховують перетворення матеріалів у теплотехнологічних процесах, тому для сушильних процесів вони повністю придатні.

3 ЧИСЛОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Лістинг математичної моделі, виконаної в програмі Mathcad-15 [16] представлено в Додатку Б. Тому тут ми показуємо тільки результати виконаних числових експериментів.

Досліджувався вплив на основні складові ексергетичного балансу:

- температури оточуючого середовища;
- температури конденсату водяної пари;
- температури теплоносія на вході і виході з робочої камери;
- видатності сушарки.

На рисунку 3.1 представлена графічна залежність теплового та ексергетичного ККД сушарки від зміни температури навколишнього середовища для реальних погодних умов. З ростом температури навколишнього середовища, ексергетичний ККД зменшується, оскільки зменшується різниця температур.

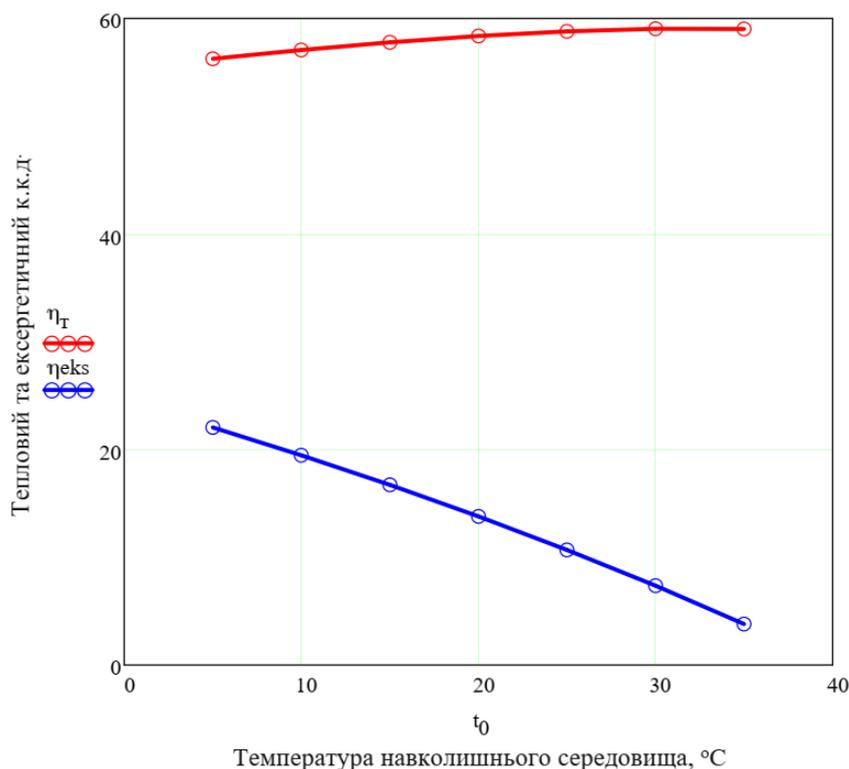


Рисунок 3.1 – Вплив температури навколишнього середовища на тепловий та ексергетичний к.к.д.

Рисунок 3.2 показує зміну втрат ексергії із зростанням температури сушильного агента, що подається в сушильну камеру після підігрівання в калориферах. З графіка випливає, що зі збільшенням значення температури теплоносія втрати ексергії зростають за гіперболічним законом.

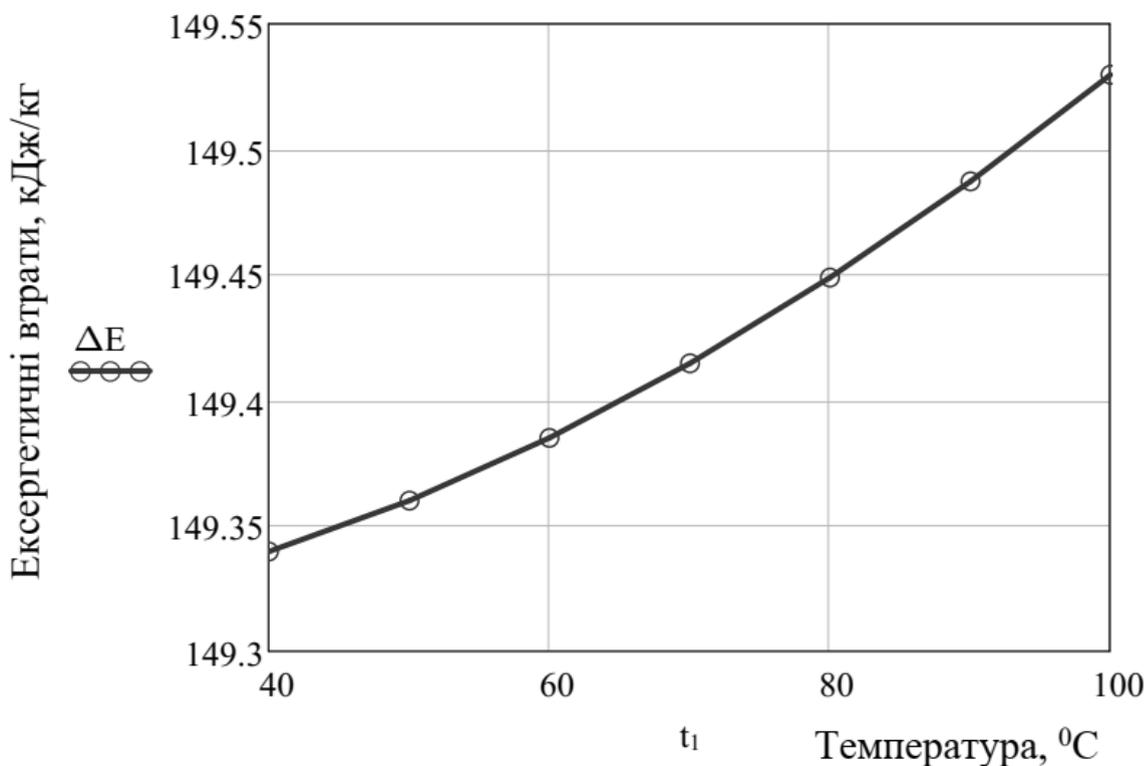


Рисунок 3.2 – Зміна втрат ексергії зі зростанням температури теплоносія

На рисунку 3.3 представлено зміну втрат ексергії із зростанням температури відпрацьованого теплоносія. Залежність є обернено пропорційною до залежності зображеної на рис.3.2.

На рисунку 3.4 подано вплив видатності сушарки на втрати ексергії в сушарці. Із залежності видно, що видатність сушарки практично не впливає на ексергетичні втрати.

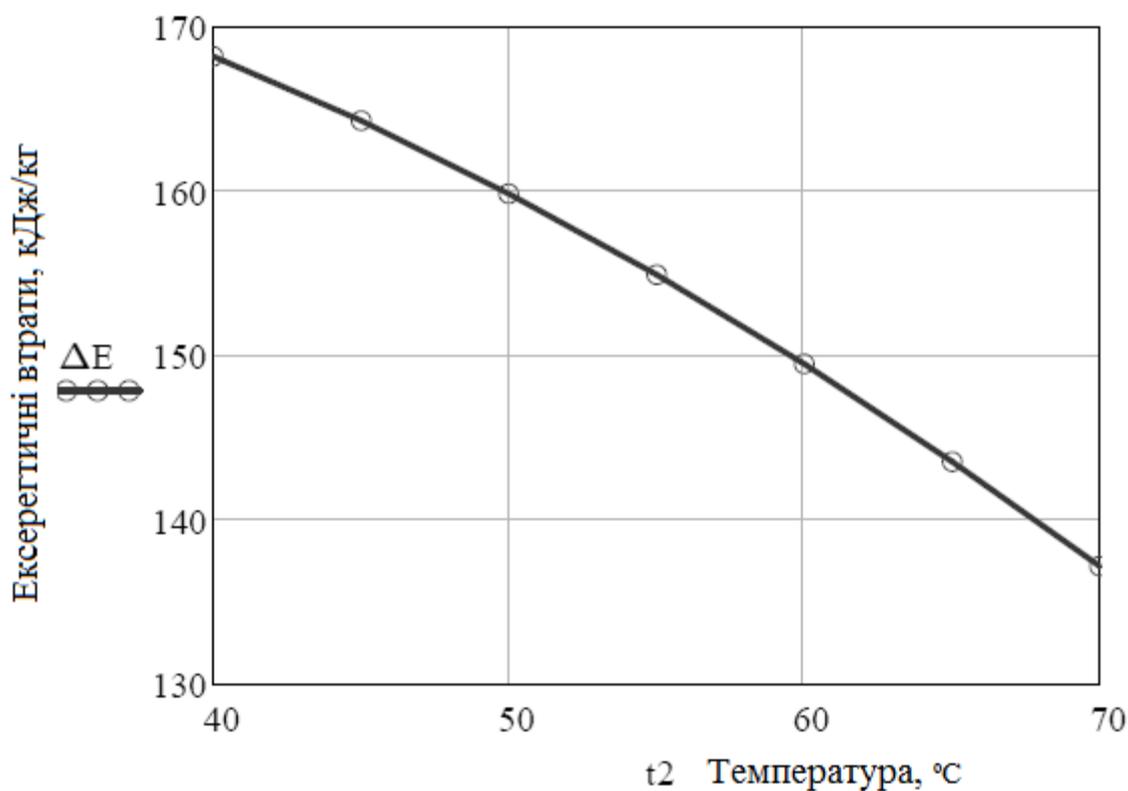


Рисунок 3.3 – Зміна ексергетичних втрат із зростанням температури відпрацьованого теплоносія

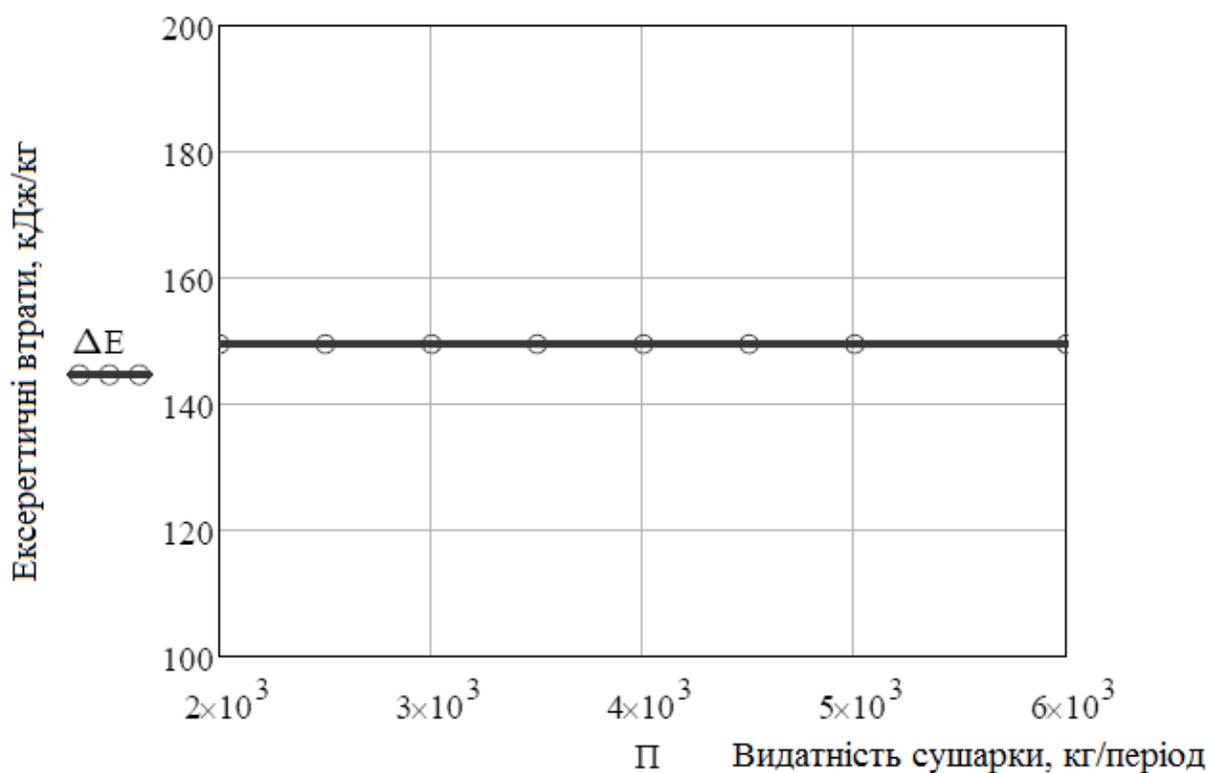


Рисунок 3.4 – Вплив видатності сушарки на загальні втрати ексергії

На Рис. 3.5 представлена залежність ексергетичного ККД стрічкової конвективної сушильної установки від температури конденсату пари, у випадку використання парових калориферів в якості джерела теплоти в сушарці. На Рис. 3.5 видно, що ексергетичний ККД залежить від температури конденсату пари прямопропорційно та зменшується зі збільшенням його температури в досить широких межах. Так, для температури конденсату $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ексергетичний ККД рівний приблизно 37% , а для температури $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ зменшується до 14% .

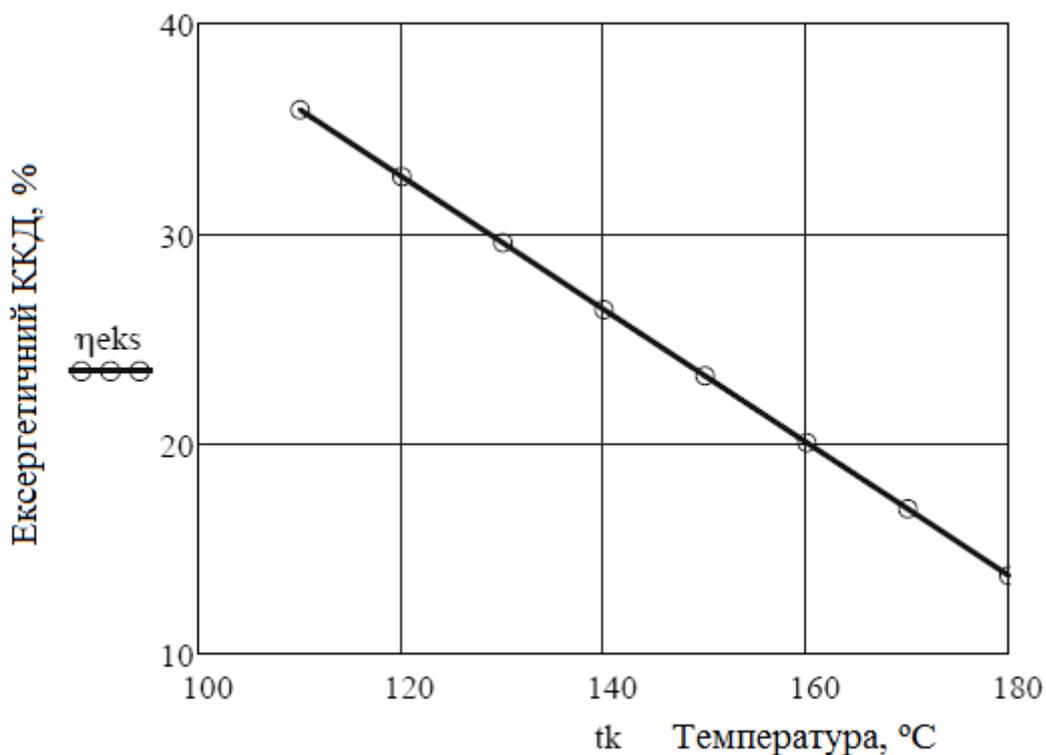


Рисунок 3.5 – Вплив температури конденсату пари на ексергетичний ККД

Взаємозалежність температури навколишнього середовища, ексергетичних втрат та корисних ексергетичних витрат на випаровування вологи в сушарці можна побачити на Рис. 3.6. Із залежностей видно, що втрати збільшуються зі зростанням температури навколишнього середовища.

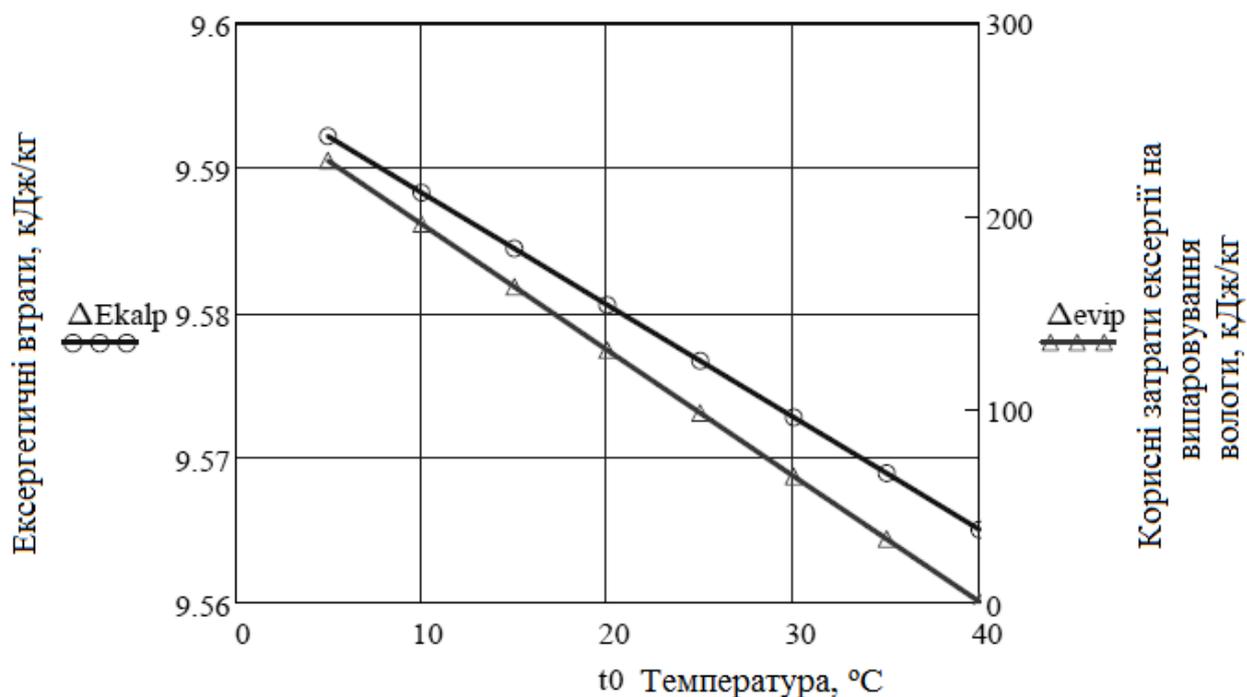


Рисунок 3.6 – Вплив початкової температури повітря на ексергетичні втрати в калорифері та на корисні затрати ексергії

Висновки до дослідницької частини: аналіз ексергетичного балансу стрічкової сушильної установки показує, що корисні витрати ексергії (які йдуть на випаровування вологи) незначні і складають 14,5%. Якщо джерелом теплоти для сушіння є парові калорифери то найбільші втрати ексергії відбуваються саме в них і досягають 50,41%. Зменшити ексергетичні втрати в калорифері можна через зменшення тиску грійної пари. Слід відмітити, що втрати з відпрацьованим теплоносієм в ексергетичному балансі складають приблизно 8%, а в тепловому – 33,2%. Такі порівняно малі ексергетичні втрати з відпрацьованим теплоносієм можна пояснити його низьким тепловим потенціалом. Як видно, втрати ексергії на нагрів матеріалу складають 0,12%, перегрів транзитної вологи (тієї, що поступає в сушарку з свіжим повітрям) – 0,25% , а на нагрів вологи в сировині – 46%.

Суттєво відрізняються енергетичний і ексергетичний ККД. Енергетичний ККД, визначений із теплового балансу сушарки, рівний 52%, а ексергетичний, котрий відображає термодинамічну досконалість установки, становить

14,5%. На нашу думку, це викликане тим, що енергетичний ККД явища незворотності процесів тепло- і масообміну не враховує.

В результаті роботи і проведення числового експерименту на математичній моделі можна зробити висновок, що суттєвого підвищення ефективності сушильних установок можна досягти за рахунок вдосконалення їх нагрівальних пристроїв і зниження в них втрат.

Слід також відзначити, що хоча ексергетичний аналіз виявляє можливості вдосконалення термодинамічних процесів, але тільки повне врахування економічних факторів дозволяє оцінити раціональність того чи іншого покращення.

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Технологія монтажу

4.1.1 Характеристика об'єкту. Формування мети монтажу

В конвективних сушильних установках найбільші втрати теплоти відбуваються з відпрацьованим сушильним агентом і в довкілля через теплову ізоляцію. Звідси випливають шляхи підвищення економічності роботи сушильних установок, пов'язані із зменшенням зазначених вище втрат теплоти [17].

Перший найбільш раціональний шлях обумовлений скороченням втрат теплоти з відпрацьованим теплоносієм, (зниженням температури газів, їх витрати, рециркуляції агента сушіння) та зменшенням втрат у навколишнє середовище (наприклад, за рахунок зменшення тепловіддаючих поверхонь, габаритів камери, покращення теплоізоляції).

Другий шлях – раціональне збереження теплоти відпрацьованого теплоносія у різного типу утилізаційних установках.

При використанні повітря як сушильного агента рециркуляція здійснюється за двома схемами:

1) частина відпрацьованого повітря повертається на вхід калорифера, змішується з атмосферним повітрям та підігрівається в калорифері до необхідної температури;

2) частина відпрацьованого повітря повертається до зони після калорифера, змішується з нагрітим у калорифері свіжим повітрям і потім подається в сушильну камеру.

Однак рециркуляція сушильного агента має і недоліки. Підвищення вологовмісту сушильного агента призводить до зниження рушійної сили масообміну, а отже, інтенсивності сушіння. Крім того, підвищується ймовірність конденсації вологи, що перешкоджає збільшенню коефіцієнта рециркуляції або взагалі, неможливості її реалізації внаслідок сильної конденсації вологи на поверхнях чи гомогенної спонтанної конденсації при змішуванні зі свіжим повітрям.

Застосування ж утилізаторів та регенераторів теплоти різних типів дозволяє значно підвищити ефективність використання палива, економічність роботи промислових сушильних установок. Утилізатори теплоти (теплообмінники) поділяються на такі групи: регенеративні (з проміжним теплоносієм); рекуперативні (повітряно-повітряні, повітряно-рідинні); змішувальні і дозволяють заощадити значну кількість теплоти від низькопотенційного відпрацьованого сушильного агента.

Метою підрозділу МКР є розрахунок об'ємів робіт та визначення складу бригад, розрахунок відомості витратних матеріалів та підбір найефективнішого обладнання для монтажу сушильного комплексу на базі стрічкової сушарки з встановленням теплообмінника-рекуператора і батареї циклонів.

Необхідно вирішити такі задачі:

- 1) розрахувати переріз повітропроводів;
- 2) визначити економічну ефективність монтажних робіт;
- 3) забезпечити максимальну продуктивність праці робочих;
- 4) забезпечити економічність експлуатації запропонованої системи.

В цьому підрозділі МКР розробляється технологія монтажу додаткового обладнання в сушильний комплекс, а саме встановлення теплообмінника-рекуператора і батареї циклонів.

З стрічкової сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК подається тепле повітря, з частинками сухого молока, в батарею циклонів ЦН-15-500-2УП з встановленою необхідною запірною-регулювальною арматурою, яке очищається. Після циклонів повітря поступає в теплообмінник рекуператор. Де охолоджується і викидається. Охолоджуючись повітря підігріває вхідне повітря в теплогенератор.

Для монтажу батареї циклонів прийняті повітропроводи з оцинкованої сталі класа Н.

Після аналізів конструктивної особливості об'єкта складаємо список виробів та матеріалів, як основних, так і допоміжних (див. табл. 4.1).

4.1.2 Документація, необхідна для монтажу системи

Монтаж теплообмінного обладнання внутрішніх систем вентиляції слід проводити у відповідності до вимог ДБН В.2.5-67:2013, ВБН В.2.3-00013741-05:2006, ДБН А.3.2-2-2009, НПАОП 45.2-7.02-12, стандартів і інструкцій заводів-виготовлювачів обладнання, а також у відповідності з протипожежними вимогами ДБН В.1.1.7-2016.

Характеристики обладнання повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 1886, ДСТУ 4319 з врахуванням вимог ДСТУ Б EN 13779. Необхідно використовувати вентилятори, що класифікуються за точністю балансування або критерієм є граничні рівні вібрації вентиляторів в залежності до їх категорії по призначенню у відповідності до вимог ДСТУ ISO 14694. Потрібно забезпечити граничні значення вібрації, які визначаються нормальною роботою вентиляторів, у відповідності до вказаних у ДСТУ ISO 14694. Шуми і вібрації від обладнання систем вентиляції та кондиціонування повітря, частина яких затримана шумоглушниками і заходи спрямовані проти впливу шумів і вібрацій мають бути у відповідності до санітарно-гігієнічних нормативів для робочих зон за ДСН 3.3.6.037 для шумів та ДСН 3.3.6.039 для вібрацій, та виконувати забезпечення вимог ДСТУ Б EN 15251 та ДБН В.1.1-31.

Проектно-технічну документацію при монтажі можна розділити на дві групи:

- проектно-технологічну документацію, (ПТД) , яка передбачає заходи із забезпечення комплексної безпеки будівництва згідно з ДБН А.3.1-5:2016.
- проектно-кошторисну документацію на монтування обладнання, (ПКД), яка містить і робочі кресленики і кошториси. В основний комплект робочих креслень включені: загальні дані про робочі креслення, креслення розташування обладнання (плани та розрізи), схеми розташування трубопроводів, креслення тепломеханічних установок (плани, розрізи та схеми) [18].

4.1.3 Комплектування та розрахунки основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Основні та допоміжні матеріали, необхідні для монтажу показані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Відомість витратних матеріалів

№ п/п	Найменування	ДСТУ, марка	Од. вим.	Кількість	Маса одиниці, кг	Загальна маса, кг
1	2	3	4	5	6	7
Повітропроводи						
1	Повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н 400×200мм	“П’ятий океан” [19]	м	6,206	4,96	30,77
2	Повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н Ø250 мм	“ П’ятий океан ” [19]	м	23,342	3,39	79,12
3	Повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н Ø200 мм	“ П’ятий океан ” [19]	м	1,55	1,62	2,51
Арматура на повітропроводах і приладах						
4	Зворотний клапан ККВ250×315 Ø250 мм	VENTS[20]	шт.	2	1,7	3,14
5	Повітряна заслінка КР250 Ø250 мм	VENTS[20]	шт.	5	1,64	8,2
6	Зворотний клапан КОМ1 400×200мм	VENTS[20]	шт.	1	2,9	2,9
7	Повітряна заслінка КР 400×200мм	VENTS[20]	шт.	2	3	6

Продовження таблиці 4.1						
1	2	3	4	5	6	7
Ізоляційні матеріали						
8	Ізоляція для труб мінераловатою на бітумному сполучному 40мм Ø250 мм	“ВЕНТ ЗАВОДИ” [21]	м	23,34 2	0,05	1,167
9	Ізоляція для труб мінеральною ватою (прошивний мат 44мм) 400×200мм	“ВЕНТ ЗАВОДИ” [21]	м ²	7,45	0,05	0,37
Загальна маса 134,38кг						
Обладнання теплотехнічної частини						
10	Теплообмінник	ФР 405 Ду 200 [22]	шт.	1	445	445
11	Відцентровий вентилятор	ВЦ 4-76 №6,3 [20]	шт.	2	33	33
12	Циклон ЦН 15-500-2УП	"Циклони" [21]	шт.	2	660	1320
Загальна маса по теплотехнічній частині 1798кг						
Допоміжне обладнання						
13	Вентилятор для випробування НВВ-2-450/71-400Т [23]		шт.	1	75	75
14	Перфоратор МАКІТА HR 5001С [24]		шт.	1	12,8	12,8
15	Електродрель «DEWALT» [25]		шт.	1	9,5	9,5
Загальна вага по допоміжному обладнанню: вага $\Sigma=97,3$ кг						
Прокладання повітропроводів діаметром 250 мм						
16	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм [26]		т	0,008 9	0,183	0,0016

Продовження таблиці 4.1						
1	2	3	4	5	6	7
17	Вироби гумові технічні морозостійкі [26]		кг	8	0,183	1,464
18	Мастіка герметизуюча нетвердіюча "Гэлан" [26]		т	0,00501	0,183	0,00092
19	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42 [26]		т	0,00041	0,183	0,000075
20	Будівельні болти з гайками та шайбами [26]		т	0,015	0,183	0,0027
Прокладання повітропроводів 400×200 мм Допоміжні матеріали						
21	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметром до 8,0-10,0 мм [26]		т	0,0084	0,0745	0,000626
22	Вироби гумові технічні морозостійкі [26]		кг	7,58	0,0745	0,565
23	Мастіка герметизуюча нетвердіюча "Гэлан" [26]		т	0,00513	0,0745	0,000382
24	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42 [26]		т	0,00039	0,0745	0,000029
25	Будівельні болти з шайбами та гайками		т	0,011	0,0745	0,00082
Прокладання повітропроводів діаметром 200 мм Допоміжні матеріали						
26	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм [26]		т	0,0089	0,0097	0,000086

Продовження таблиці 4.1						
1	2	3	4	5	6	7
27	Вироби гумові технічні морозостійкі [26]		кг	8	0,0097	0,0776
28	Мастіка герметизуюча нетвердіюча "Гэлан" [26]		т	0,00501	0,0097	0,0000486
29	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42 [26]		т	0,00045	0,0097	0,000004
30	Будівельні болти з шайбами та гайками [26]		т	0,015	0,0097	0,00015
Зворотний клапан ККВ250×315, повітряна заслінка КР250 Допоміжні матеріали						
31	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм [26]		т	0,00006	7	0,00042
32	Вироби гумові технічні морозостійкі [26]		кг	0,164	7	1,148
33	Болти будівельні з гайками та шайбами [26]		т	0,0001	7	0,0007
Зворотний клапан КОМ1 400×200мм, повітряна заслінка КР 400×200мм Допоміжні матеріали						
34	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм [26]		т	0,00016	3	0,00048
35	Вироби гумові технічні морозостійкі [26]		кг	0,286	3	0,858
36	Будівельні болти з шайбами та гайками [26]		т	0,0002	3	0,0006

Продовження таблиці 4.1						
1	2	3	4	5	6	7
Ізоляція для труб мінераловатою на бітумному сполучному 40мм Ø250 мм Допоміжні матеріали						
37	Бітуми нафтові будівельні, марка БН-70/30 [27]		т	0,08	2,3342	0,187
38	Стрічка сталева пакувальна, м'яка, нормальної точності 0,7х (20-50) мм [27]		т	0,00485	2,3342	0,0113
39	Сталь листова оцинкована, товщина 0,8 мм [27]		кг	0,15	2,3342	0,35
40	Пряжки [26]		кг	0,15	2,3342	0,35
Ізоляція для труб мінеральною ватою (прошивний мат 44мм) 400×200мм Допоміжні матеріали						
41	Стрічка сталева пакувальна, м'яка, нормальної точності 0,7х (20-50) мм [27]		т	0,0026	0,745	0,0019
42	Дріт різного призначення оцинкована, діаметр 1,1 мм [27]		т	0,00017	0,745	0,00013
43	Дріт різного призначення оцинкована, діаметр 6,0-6,3 мм [20]		т	0,0046	0,745	0,0034
44	Дріт загального призначення, діаметр 0 8 мм [27]		кг	0,25	0,745	0,186
45	Дріт загального призначення, діаметр 2 мм [27]		кг	3,7	0,745	2,757
46	Сталь листова оцинкована, товщина 0,8 мм [27]		кг	0,03	0,745	0,022
47	Пряжки [26]		кг	0,03	0,745	0,022

Продовження таблиці 4.1						
1	2	3	4	5	6	7
Встановлення відцентрового вентилятора						
Допоміжні матеріали						
48	Болти анкерні [26]		т	0,0014	1	0,0014
49	Будівельні болти з шайбами та гайками [26]		т	0,0016	1	0,0016
Встановлення теплообмінника						
Допоміжні матеріали						
50	Вироби гумові технічні морозостійкі [26]		кг	0,074	1	0,074
51	Електроди, діаметром 5 мм, марки Э42 [26]		т	0,00053	1	0,00053
52	Будівельні болти з шайбами та гайками [26]		т	0,00021	1	0,00021
53	Плоскі приварні фланці сталеві, на тиски 1,0 МПа, діаметром 40 мм [26]		шт.	2	1	2
Монтаж циклона ЦН 15-500-2УП						
Допоміжні матеріали						
54	Вироби гумові морозостійкі технічні [26]		кг	2,7	0,2	0,54
55	Каболка [26]		т	0,00001	0,2	0,000002
56	Густотертая масляна, земляна фарба типу МА-015 [26]		т	0,00004	0,2	0,000008
57	Комбінована оліфа К-3 [26]		т	0,00002	0,2	0,000002
58	Електроди діаметром 5 мм, марки Э42 [26]		т	0,0128	0,2	0,00256

Продовження таблиці 4.1						
1	2	3	4	5	6	7
59	Будівельні болти з шайбами та гайками [26]		т	0,0055	0,2	0,0011
Загальна маса допоміжного обладнання						229,14кг
Загальна маса всього обладнання						2258,85кг

4.1.4 Об'єми і склад робіт

4.1.4.1 Склад робіт

1. Доставляння обладнання та матеріалів до місця монтажу та їх складання.
2. Розмічання місця прокладання повітропроводів.
3. Монтаж циклона ЦН 15-500-2УП.
4. Монтаж теплообмінника.
5. Монтаж відцентрового вентилятора.
6. Прокладування повітропроводів 400×200мм.
7. Прокладування повітропроводів Ø200 мм.
8. Прокладування повітропроводів Ø250 мм.
9. Установка арматури.
10. Перші випробування роботи окремих частин.
11. Ізоляція повітропроводів 400×200мм.
12. Ізоляція повітропроводів Ø250 мм.
13. Перевіряння зібраної системи.
14. Остаточне перевіряння всіх систем і здавання їх в експлуатацію.
15. Повернення залишків на склад.

4.1.4.2 Об'єми робіт

1. Доставляння обладнання та матеріалів до місця монтажу та їх складання. Одиниці вимірювання в тонах. Повна вага всіх деталей 2258,85 кг (див. табл. 4.1) . Беремо об'єм $V=2,25885$.

2. Розмічання місця прокладання повітропроводів. Одиниці вимірювання: сто метрів. Повна довжина мережі трубопроводу складає $L=31,098$ м. Прий-

маємо $V=0,31$. (табл. 4.1).

3. Монтаж циклона ЦН 15-500-2УН. Одиниці вимірювання 10 штук. Отже, приймаємо $V=0,2$ (див.табл.4.1).

4. Монтаж теплообмінника. Вимірювання в штуках. Отже, $V= 1$.

5. Монтаж відцентрового вентилятора. Одиниці вимірювання: штуки. Беремо $V= 1$ (див.табл.4.1).

6. Прокладання повітропроводів з оцинкованої сталі класа Н 400×200 мм. Одиниці вимірювання в 100 м.кв. Площа труб 400×200 мм рівна $7,45 \text{ м}^2$, беремо $V=0,0745$ (табл. 4.1).

7. Прокладання повітропроводів з оцинкованої сталі класа Н $\text{Ø}200$ мм. Одиниці вимірювання в 100 м.кв. Площа труб діаметром 200 мм рівнає $0,628 \text{ м}^2$, беремо $V=0,00628$ (табл. 4.1).

8. Прокладання повітропроводів з оцинкованої сталі класа Н $\text{Ø}250$ мм. Одиниці вимірювання в 100 м.кв. Площа труб діаметром 250 мм рівна $18,32 \text{ м}^2$, беремо $V=0,1832$ (табл. 4.1).

9. Встановлення арматури запірно-регулювальної. Одиниці вимірювання: штуки. Беремо $V=10$ (табл. 4.1).

10. Перше робоче випробування окремих частин. Одиниці вимірювання: метри погонні. Повна довжина повітропроводів: 31,098 м. Отже, $V= 31,098$.

11. Ізоляція повітропроводів. Одиниці вимірювання на 10 м^2 . Загальна площа труб 400×200 мм складає $7,45 \text{ м}^2$, отже, приймаємо $V=0,745$ (табл. 4.1).

12. Ізоляція повітропроводів. Одиниці вимірювання на 10 м. Загальна довжина повітропроводів з оцинкованої сталі класа Н $\text{Ø}250$ мм становить 23,342м, отже, приймаємо $V= 2,342$ (табл. 4.1).

13. Перевірянні всієї системи. Одиниці вимірювання: метри. Загальна довжина повітропроводів становить: 31,098 м. Отже, $V= 31,098$.

14. Остаточне перевіряння системи і здавання в експлуатацію. Одиниці вимірювання: метри. Повна довжина повітропроводів становить: 31,098 м. Беремо $V= 31,098$ (див.табл.4.1).

15. Повернення залишків до складу. Одиниці вимірювання в кілограмах .

Загальна маса усіх залишків 97,3 кг. Беремо $V=97,3$ (див.табл.4.1).

4.1.5 Вибір і обґрунтування типів машин, пристосувань і конструкцій механізмів, методів виконання робіт,

4.1.5.1 Доставляння деталей до місця

Якщо чітко організувати доставку обладнання і матеріалів до робочих місць то це безпосередньо впливає на якість монтажних робіт при монтажі сушильного обладнання.

Після доставляння на монтажний майданчик обладнання групуємо його згідно із заявочними специфікаціями.

4.1.6 Монтаж циклона

В цій системі використовуються циклона ЦН 15-500-2УП.

Циклони встановлюються після підготовки фундаменту, відмітки місць встановлення. Стабільність функціонування системи досягається за рахунок:

- правильного співвідношення діаметра труби і площі зонта;
- вибору оптимальної товщини повітропроводу, що з'єднує циклон з зонтом;
- правильного визначення довжини системи від зонта до вихлопу;
- підбору оптимальних параметрів тиску вентиляційного обладнання та продуктивності.

Роботи з монтажу циклону виконують в такій послідовності:

- а) розмічують місце установаження кріплень;
- б) висвердлюють отвори для кріплення опор;
- в) закріплюють опори на циклоні;
- г) встановлюють циклон з опорами в проєктне положення;
- д) збирають фасонні частин на різьбових з'єднаннях.

Циклони укомплектовуються зворотним клапаном і повітряними заслінками.

4.1.7 Монтаж теплообмінника

В даній схемі використовується алюмінієвий, компактний теплообмінник, типу «повітря-повітря».

Перед обв'язкою необхідно перевірити правильність установки розміру PP_{max} . Приєднання до портів на притискної плиті повинні мати рухливість паралельно стяжним шпильок. Повітропроводи і відводи повинні бути знімними і забезпечувати можливість переміщення притискної плити по всій довжині направляючої штанги для чищення і технічного огляду.

Ніякі сторонні сили і вібрації не повинні впливати на порти приєднань теплообмінника - всі труби повинні підтримуватися опорами.

У разі виконання зварювальних робіт в безпосередній близькості від теплообмінника необхідно захистити пластини і прокладки від бризок розплавленого металу і впливу ультрафіолетового випромінювання.

Забороняється приварювати фланці до трубопроводів безпосередньо на теплообміннику.

Потрібно зважити і встановити фланці як необхідно, провести прихватку зварюванням фланців до трубопроводів, проварку зробити в віддаленому від теплообмінника місці, не допускаючи попадання бризок зварювання на його пластини. Також необхідно уникати перегріву плит корпусу і разом з ним пластин (особливо гумових ущільнень).

4.1.8 Монтаж відцентрового вентилятора

В даній схемі використовуються вентилятори ВЦ 4.76 №6.3. Для підключення круглих повітропроводів до вентилятора використовується фланець ФВЦ-ВЦУН.

Для попередження попадання сторонніх предметів у вентилятор використовується решітка РВЦ-ВЦУН.

Віброізолятор ВВЦр застосовуються для зменшення шуму і гасіння вібрації, створюваних вентилятором, знижують динамічні навантаження, підвищують надійність і довговічність обладнання.

4.1.9 Монтаж повітропроводів

Попередньо на об'єкті проводиться розмітка передбачуваного маршруту повітропроводів, пробивка отворів в стінах, уточнення місць розташування обладнання та комплектуючих. Слід звернути увагу на їх правильну установку, - напрям повітряних потоків, відповідне їм розташування зворотних клапанів і повітряних дроселів[18].

Монтаж повітропроводів, як прямокутних так і круглих фланцевих проводиться після набивання на їх торці фланців, для з'єднання повітропроводів між собою. Для круглих повітропроводів в якості фланців застосовується катаний по відповідному діаметру, зварений на стику сталевий кутник.

4.1.10 Підбір обладнання та розрахунок витрат ресурсів

4.1.10.1 Підбір обладнання, пристосувань та машин

Повітропроводи, деталі, конструктивні модулі та прилади для системи завозять автомашиною "Scania R 420" централізовано. Характеристики автомобіля вантажного "Scania R 420" показано в таблиці 4.2.

Для пробивання отворів у стінах планується використання перфоратора «МАКІТА» [24].

Для випробування повітропроводів на міцність та щільність використовуємо відцентровий вентилятор НВВ-2-450/71-400Т, його характеристика в таблиці 4.4.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики автомашини " Scania R 420"[28]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Вантажопідйомність	кг	до 12000
Кількість осей:		
всього	шт	2
ведучих	шт	1
Найбільша швидкість	км/год	85

Продовження таблиці 4.2		
1	2	3
Шини: передні задні		Michelin 315/60R22.5
Витрата палива	л/100 км	22,4
Габарити: Довжина Ширина Висота		6100 2300 1450
Маса	кг	40000

Таблиця 4.3 – Характеристики перфоратора «МАКІТА HR 5001С»

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

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики вентилятора відцентрового НВВ-2-450/71-400Т [23]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Максимальна подача	м ³ /год	4000
Швидкість оборотів	об/хв	2900
Статичний тиск	Па	3500
Маса	кг	75

Витрату герметизуючих витратних матеріалів зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Кількість витратних матеріалів для монтажу

Витратні матеріали	Одиниця виміру	Витрати матеріалів		
		Шифр	Вага	Об'єм
Прокладки гумові	кг	111-1746	5,45	-
Льон(прядиво)	кг	1545-0159	12,45	-
Прокладка з пароніту, марки ПМБТ, товщиною 1 мм	1000	шт.	0,06	-
$\Sigma=18$				

4.1.11 Витрата на пальне та електричну енергію

Витрати електричної енергії на роботи приладів

$$E=P \cdot \tau \cdot k, \quad (4.1)$$

де P – потужність прилада чи механізму, кВт;

τ – тривалість роботи прилада, год;

k – коефіцієнт для врахування періодичності роботи електрообладнання[10].

1) Витрата електричної енергії для роботи відцентрового вентилятора НВВ-2-450/71-400Т:

$$K=0,1 \quad \tau=3 \text{ год}, \quad P=4 \text{ (кВт)};$$

$$E_1= 4 \cdot 3 \cdot 0,1= 1,2 \text{ (кВт год)}.$$

2) Витрата електричної енергії для роботи перфоратора МАКІТА HR 5001С:

$$K=0,1 \quad \tau=16 \text{ год}, \quad p=0,35 \text{ (кВт)};$$

$$E_2 = 0,35 \cdot 16 \cdot 0,1 = 0,56 \text{ (кВт год)}.$$

Витрати паливно-мастильних матеріалів для доставляння:

- відстань 267 (км);
- кількість рейсів $n=1$;
- витрата палива $Q=22,4$ (л/100км).

Необхідна кількість палива для доставляння

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l = 0,224 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 267 = 119,616 \text{ л.} \quad (4.2)$$

4.1.12 Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = (V \cdot H_{\text{ч}}) / B \text{ (люд/дні)}, \quad (4.3)$$

де V – об'єми робіт;

$H_{\text{ч}}$ – норми часу на одиниці вимірювання, люд/год;

B – тривалість зміни, год.

Тривалість монтажних робіт

$$T = Q / n \text{ (дні)}, \quad (4.4)$$

де Q – трудоємкість монтажних робіт, люд/дні

n – число робочих, люд

Результат розрахунків подано в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Визначення трудоемкості монтажної роботи

Найменування роботи	Од. Виміру	Об'єм робіт	Норма часу, люд/год	Трудо-містк люд/дні	Виконавці		Тривалість, днів
					кі-лькість	Склад ланки	
1	2	3	4	5	6	7	8
Доставляння матеріалів до монтажного майданчика та їх складання	т	2,2589	3,1	0,88	2	Робітник Водій	0,44
Розмітка місць прокладання повітропроводу	100 м	0,31	1,6	0,072	2	Слюсар 4, 1 розрядів	0,036
Монтаж циклона ЦН 15-500-2УП [26]	10 шт	0,2	384,2	9,605	3	Монтажники 6,4,2 розрядів	3,202
Монтаж теплообмінника [26]	шт	1	13,87	1,73	3	Монтажники 5,4,3 розрядів	0,577
Монтаж відцентрового вентилятора [26]	шт	1	10,2	1,275	2	Монтажники 5,3 розрядів	0,638

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8
Прокладання повітропроводу 400×200мм [29]	100м ²	0,0745	240,6	2,24	2	Слюсаря-вентиляційники 5,4 розрядів	1,12
Прокладання повітропроводів з оцинкованої сталі класу Н діаметром 200 мм [29]	100м ²	0,0097	277,3	0,336	2	Слюсаря-вентиляційники 5,4 розрядів	0,168
Прокладання повітропроводів з оцинкованої сталі класу Н діаметром 250 мм [29]	100м ²	0,183	261,8	5,99	2	Слюсаря-вентиляційники 5,4 розрядів	3
Встановлення зворотного клапана ККВ 250×315, повітряної заслінки КР250 [26]	шт	7	2,41	2,11	2	Слюсаря-вентиляційники 4,2 розрядів	1,055

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8
Встановлення зворотного клапана КОМ1 400×200мм, повітряної заслінки КР 400×200мм [26]	шт	3	2,72	1,02	2	Слюсаря-вентиляційники 4,2 розрядів	0,51
Перше робоче випробування окремих частин	100м	0,311	5,4	0,21	2	Слюсаря-вентиляційники 3,5 розрядів	0,105
Ізоляція повітропроводів 400×200мм [27]	10м ²	0,745	9,44	0,879	2	Іzolовальник 2,4 розрядів	0,44
Ізоляція повітропроводів діаметром 250мм [27]	10м	2,342	33,12	9,7	2	Іzolовальник 2,4 розрядів	4,85

Продовження таблиці 4.6							
1	2	3	4	5	6	7	8
Перевіряння всієї системи [30]	100м	0,31	2,9	0,11	2	Слюсаря- вентиляційники 3,5 розрядів	0,055
Остаточне перевіряння системи і здавання в експлуатацію [30]	100м	0,31	2,4	0,093	2	Слюсаря- вентиляційники 3,5 розрядів	0,047
Повернення залишків на склад	т	0,0973	3,1	0,0377	2	Робітник Водій	0,019
				36,2877			16,26

4.1.13 Склад бригад

Склади бригад та середні розряди робітників для здійснення монтажу визначають у відповідності з нормативними документами.

1. Доставляння конструкцій, матеріалів і деталей до місця монтажу. Водій і робітник.
2. Розмічання місця прокладання повітропроводів. Два слюсаря 4,1 розрядів.
3. Монтаж циклона ЦН 15-500-2УП. Три монтажника систем вентиляції 6,4,2 розрядів
4. Монтаж теплообмінника. Три монтажника 5,4,3 розрядів
5. Монтаж відцентрового вентилятора. Два монтажника 5,3 розрядів

6. Прокладка повітропроводів 340×340мм. Два слюсаря-вентиляційники 5,4 розрядів.
7. Прокладка повітропроводів Ø200 мм. Два слюсара-вентиляційники 5,4 розрядів.
8. Прокладка повітропроводів Ø230 мм. Два слюсаря-вентиляційники 5,4 розрядів.
9. Встановлення запірної арматури. Два слюсаря-вентиляційники 4,2 розрядів.
10. Робоче випробування окремих частин. Два слюсаря- вентиляційники 3,5 розрядів.
11. Ізоляція повітропроводів 340×340мм. Два ізолювальника 2,4 розрядів.
12. Ізоляція повітропроводів Ø230 мм. Два ізолювальника 2,4 розрядів.
13. Перевірка зібраної системи. Два слюсаря- вентиляційники 3,5 розрядів.
14. Остаточне перевіряння систем і здавання до експлуатації. Два слюсаря- вентиляційники 3,5 розрядів.
15. Повернення залишків на склад. Водій і робітник.

4.1.14 Облаштування робочих місць та приміщень для побутових потреб

Перед початком виконання роботи визначається, чи готова будівля до монтажно-збірних робіт.

Об'єкти під монтаж системи приймаються за встановленої форми актами, які підписують представники генпідрядника (майстер або виконроб), котрий виконує монтажні роботи.

Перед тим як розпочати монтажні роботи на об'єкті, виконати наступні роботи, які фіксуються актом:

- змонтувати міжповерхові перекриття і сходові клітини;
- пробити отвори в стінах і в перекриттях підготувати борозди для прокладки повітропроводів;

- оштукатурити інші частини стін в місцях де встановлюються нагрівальні прилади і прокладають повітропроводи;
- підготувати монтажні майданчики для переміщення обладнання з крупними габаритами, якщо його планують монтувати;
- відмітки чистої підлоги наносять на стінах фарбою;
- встановити віконні коробки;
- для підключення механізмів і інструментів підводять електросилові лінії;
- забезпечують освітленість місць роботи з вільним доступом робітників до них і забезпечують можливість доставляння матеріалів і виробів монтажного обладнання;
- утеплити приміщення взимку при виконанні робіт, заслонити вікна;
- виділяють місце для складування обладнання і монтажних заготовок;
- для зберігання малогабаритних інструментів, інвентаря виділяють окреме складське приміщення.

Якщо об'єкт будівництва не прийнятий під монтаж, монтажні роботи виконувати не дозволяється.

4.1.15 Монтажне регулювання і здавання систем до експлуатації

Послідовність технологічних операцій при виконанні монтажних робіт.

Монтаж системи виконати в такій послідовності: розмітити місця установки обладнання; розмітити місця установки кріплень; встановити опори та обладнання. Монтаж повітропроводів виконати в такій послідовності: розмітити вісі, установити підвіски з кронштейнами; покласти повітропроводи, заготовки та вузли за наміченими вісями; приєднати до них обладнання; визначити та встановити задані уклони; закріпити повітропроводи на опорах та підвісках.

Коли всі монтажні роботи виконані, систему необхідно випробувати, чи вона герметична, чи справна арматура та встановлене обладнання. Випробування, чи герметична система, виконують до накладення ізоляції і остаточного фарбування. Випробовують повітропроводи способом відповідно до ГОСТ 3845-

82 тиском, який перевищує робочі тиски на 0,5 МПа, але не більше 1 МПа на протязі десяти хвилин; зниження тиску при таких випробуваннях можливе не більш ніж на 0,1 МПа.

Випробування системи оформляється актами. Для приймання системи в експлуатацію пред'являють основні документи:

- акти, креслення і документи погоджень на додаткові роботи і зміни, допущені при виконанні робіт;
- акти на приховані роботи;
- акти випробувань окремих елементів (монтажних вузлів, пристроїв, обладнання) з доданням усіх паспортів;
- акти випробувань на герметичність мережі та на ефективність роботи обладнання (насосів, баків, пожежних кранів і т. п.).

Під час приймання перевіряють, чи відповідає готовий монтаж затвердженим проектом, перевіряється, чи міцні кріплення, чи наявні ухили щоб спорожнювати труби, чи відсутні в арматурі і в обладнанні витоки повітря, чи ефективно воно включається і виключається, як працює автоматизація.

В актах приймання вказують усі зазначені дефекти і неполадки, відступу від затвердженого проекту, результати випробування устаткування і системи в цілому, якість виконаних робіт, наявність недоробок, термін для їх усунення.

Значно підвищують рівні технічної експлуатації будівель забезпечені запасними деталями, необхідними матеріалами, обладнанням якщо необхідний поточний ремонт внутрішніх технічних систем спеціалізовані експлуатаційні організації, спеціалізовані ремонтні цехи, ..

4.1.16 Техніка безпеки під час виконання монтажних робіт

Для виключення можливостей по виникненню нещасних випадків при монтажних роботах на системі чи на заготівельних роботах, необхідне суворе дотримання правил безпеки та протипожежної техніки безпеки.

Всі працівники повинні пройти навчання по техніці безпеки по 8 - 10 годинній програмі.

Користуючись трубними і гайковими ключами, заборонено одягання обрізків труби на гайкові ключі і використання металевих підкладок під губки ключів.

Переміщення і піднімання важких конструкцій, модулів або елементів допускається таями, кранами та лебідками, які пройшли відповідні випробування і перевірки, причому як талі потрібно застосовувати сталеві троси з гайками.

Щоб попередити пожежу в заготівельній майстерні або на місцях, де ведуть монтажні роботи, необхідне обережне поводження з вогнем та повинне бути виконання всіх протипожежних заходів. Палити можна лише в спеціально відведених місцях. Зберігання вогнебезпечних матеріалів допускається тільки в спеціальних приміщеннях. Електричні мережі повинні бути справними.

Якщо виникає пожежа, то поки прибуде пожежна команда використовують штатні засоби гасіння пожежі.

Якщо людину вразив електричний струм, необхідно якнайшвидше її звільнити від впливу струму, для чого виключають рубильники, а якщо це неможливо, то відривають постраждалого від дроту який під напругою. При цій операції, той, що надасть допомогу, не має торкатися голими руками враженого, необхідна наявність гумових рукавичок та діелектричних калош. Якщо їх немає, стають на суху дошку та обмотують сухим одягом руки. Після відривання від струмопровідних частин постраждалому за потреби роблять штучне дихання.

4.2 Автоматизація модернізованої стрічкової сушарки

4.2.1 Вимоги до роботи стрічкових сушарок

У стрічкових сушарках сушіння матеріалів відбувається неперервно за атмосферного тиску. У робочих камерах таких сушарок шар сировини рухається разом з нескінченною стрічкою, що натягнута між ведучим і веденим барабанами.

В стрічкових сушарках організують прямотік, протитік і рух з перехресним потоком теплоносія і сировини, коли сировина на стрічках продувається теплоносієм знизу або зверху, в них може бути рециркуляція, часткова рециркуляція теплоносія або проміжне його підігрівання. Через це в стрічкових сушарках можна досягти м'яких умов сушіння. Рівномірності висушування досягають багаторазовим перемішуванням сировини коли вона пересипається з однієї стрічки транспортера на іншу [31].

Щоб забезпечити ефективність енерговикористання енергії якості готового продукту в сушильному обладнанні повинні бути відповідні контролюючі, реєструючі та регулюючі прилади й виконавчі елементи, які б регулювали і підтримували вибрані сушильні режими. Самі сушильні режими можуть бути ступеневими, тобто плавно чи дискретно змінюватися під час сушіння. Впровадження у сушильне обладнання автоматичних засобів повинно забезпечити раціональну видатність обладнання, якісну сушену продукцію, зменшити енергетичні і матеріальні витрати на сушильний процес. Автоматизація сушильного обладнання має забезпечувати вибрані режими сушіння й задовільнення вимог правил експлуатації:

- перед пуском обладнання, з рухомими вузлами мають лунати попередній попереджувальні сигнали;
- запуск усіх електроприводів відбуватися із часовим контролем їх розгання до номінальних швидкостей;
- перед тим, як спрацює відповідний запальний пристрій топки має увімкнутися попередня вентиляція топки (для газових та рідинно-паливних топко);

- має бути забезпечена певна послідовність запуску вентиляторів в сушильних та охолоджувальних камерах;
- має бути забезпечена певна послідовність запускання теплогенеруючого обладнання і вмикатися парові або електричні калорифери, радіаційні генератори енергії (ГЧ, НВЧ);
- подавання пального в пальники в автоматичних режимах і з системами контролю полум'я;
- запускаються транспортні пристрої (стрічки);
- забезпечується аварійна зупинка сушарки якщо вона неправильно працює або за пікових навантажень;
- мають виконуватися додаткові операції, які б забезпечували нормальний перебіг процесу та безаварійну роботу пристроїв і вузлів;
- запускання систем екологічного контролю;
- вмикання систем електро- та пожежної безпеки.

Метою розділу є набуття практичних навичок у виконанні розрахунків із розроблення схем автоматизації теплотехнологічного обладнання визначення основних вимог правил експлуатації та забезпечення цих вимог засобами автоматизації, а також розроблення схеми автоматизації конвективної стрічкової сушарки.

4.2.2 Аналіз можливостей автоматичного управління процесом сушіння в стрічкових сушарках

4.2.2.1 Стрічкова сушарка як об'єкт автоматизації

За об'єкт управління для автоматизації процесу сушіння беремо стрічкову прямотокову сушарку, в якій нагріте повітря служить сушильним агентом. Воно підігрівається димовими газами із твердопаливної топки в теплообміннику. Як показник ефективності процесу виступає вологість w_k висушеного матеріалу, а як мета управління - підтримання цієї характеристики на заданому рівні. Витрати матеріалу визначаються продуктивністю сушарки, яка, найчастіше, є постійна. Тому можна іти шляхом стабілізування витрат вологих матеріалів, що б за-

безпечувало задані значення продуктивності і усувало збудження за даним каналом. Це вирішується встановленням автоматичних дозаторів.

Вологість w_k залежатиме від технологічних режимів у попередніх процесах. Якщо цей параметр змінюється, в об'єкті виникають сильні збуджуючої дії.

Кількість вологи W , що поглинена теплоносієм, визначається в основному через поверхню G на якій контактують сушильний агент і матеріал, а також через середню рушійну силу L . Площа поверхні G залежатиме від товщини шару сировини і її гранулометричного складу. Товщину шарів визначають по наявності матеріалу на стрічках і за постійних витрат сировини і швидкості, з якою обертаються ведучі зубчасті барабани стрічок (на практиці для обертання поширеним є використання асинхронних двигунів з постійною кількістю оборотів робочого валу). Гранулометричний склад залежить від впливу, що надали попередні технологічні процеси; з його змінюванням до об'єкту вносяться збурення [32].

4.2.3 Вибір основного регульованого параметра

Середня рушійна сила D визначиться рушійною силою на початку D_1 і рушійною силою в кінці D_2 процесу (рис. 4.1). Координати точки A залежать від значень вологості сушильного агента φ_n і матеріалу w_n , які визначені в попередніх процесах. Цими каналами поступають збурення, тому їх складно стабілізувати.

Координати точки B визначаються вологістю сировини (w_k задають, виходячи яка мета управління) і теплоносія φ_k . Величина вологості (φ_k залежить від витрати теплоносія, що рухається в сушарці: чим вона більша, тим меншою є вологість φ_k і точка B на лінії вологості w_k розташовується тим лівіше. Із зміною витрати сушильного агента до об'єкта можна вносити регулюючі дії [33].

Координати точок Γ і D визначаються характером кривої рівноважної вологості. Характер зміни її залежатиме від температури над стрічками в сушарці.

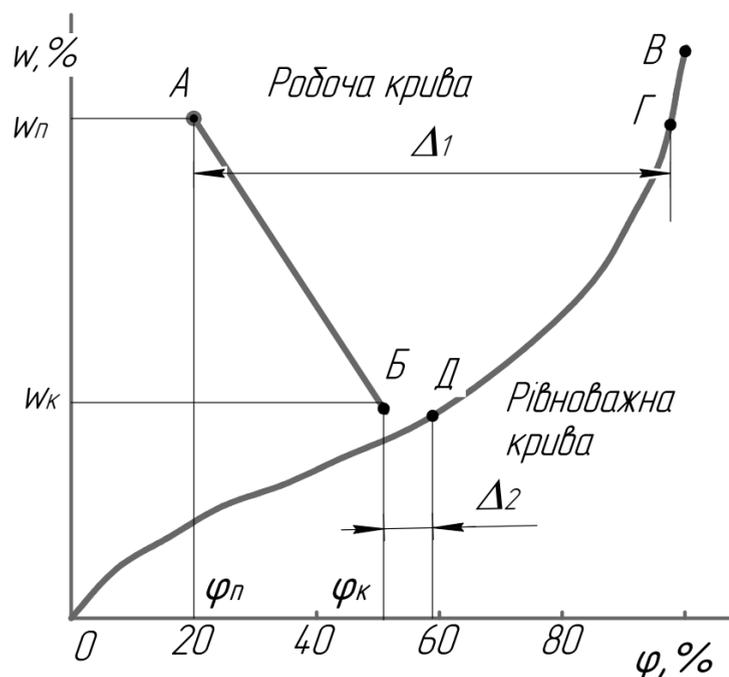


Рисунок 4.1 – Діаграма w - φ

OB – рівноважна крива;

$w_{п}$, $w_{к}$, – вологість сировини на вході і виході з сушарки;

$\varphi_{п}$, $\varphi_{к}$ – вологість теплоносія на вході і виході з сушарки

Температуру визначають всі початкові параметри, а також інтенсивність процесів випаровування вологи з матеріалу. Стабілізація інтенсивності можлива, наприклад, змінюючи витрату або температуру теплоносія. Необхідно врахувати, що інтервал зміни температури є істотно обмеженим, що можна пояснити вимогами техніки безпеки і можливістю розпадання висушеного термолабільного матеріалу [33].

Таким чином, стабілізація всіх параметрів, що впливають на показник ефективності, неможлива.

Тому в якості основного регульованого параметра є доцільним взяти вологість $w_{к}$, а регулюючі дії здійснювати змінюючи витрату теплоносія. Відповідність між витратою пального і повітря забезпечують регуляторами співвідношення. Необхідно регулювати і витрату сировини, це роблять змінюючи швидкість руху кожної стрічки. Регулювання розрідження в сушарці виконують змінюючи витрату сушильного агента, що йде на рециркуляцію.

При управлінні процесом сушіння контролюють витрату пального, первинного і вторинного повітря, вологості і сухої сировини, температуру теплоносія на вході і на виході з сушарки, температуру в робочій камері сушарки, розрідження в камері змішувача.

4.2.4 Обґрунтування завдання

Завданням автоматизації сушильного комплексу на базі стрічкової конвективної сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК є автоматичне регулювання параметрів повітря яке надходить в камеру сушіння, а саме вологості повітря $\varphi = 5\%$ та температури повітря $t = 65^{\circ}\text{C}$.

Технологічний захист повинен забезпечувати повне відключення процесу сушіння при виході з ладу вентилятора для циркуляції повітря в камері сушіння.

Технологічний контроль повинен забезпечувати контролювання параметрів повітря на вході і на виході з камери сушіння. Такими параметрами є вологість і температура повітря.

Попереджувальна технологічна сигналізація має світловий сигнал при недотриманні температури і вологості сушильного агента. Аварійна технологічна сигналізація має світловий сигнал при виході з ладу вентилятора для циркуляції повітря в камері сушіння. Контрольна технологічна сигналізація виводить на пульт значення вологості і температури сушильного агента до камери сушіння і після неї [34].

Автоматичне регулювання температури здійснюється таким чином: після теплообмінного апарату перед сушильною камерою встановлюються датчики температури повітря та вологості повітря. Під час відхилення температури повітря надходить сигнал через регулятор до виконавчого механізму який керує регулюючим органом, а саме зменшує чи збільшує подачу палива в котел. При відхиленні значення вологості повітря подається сигнал до виконавчого механізму який регулює кут відкриття заслінки для подачі димових газів до теплообмінника.

Технологічний захист виконується за допомогою датчика витрати FE, який при подає сигнал до регулятора який дає сигнал здійснювати повне відключення. Повне відключення може бути, коли несправний циркуляційний вентилятор, тоді не надходить до камери сушіння теплоносій. Тоді автоматично переключаються засувки на вентиляторі та витяжному димососі. Заслонка перекриває хід димовим газам в газоповітряний теплообмінник і гази відразу виводяться до атмосфери. Заслонкою перед витяжним вентилятором перекривається викидання відпрацьованого повітря і відключається нагрівання теплоносія.

Технологічний контроль параметрів сушильного агента здійснюється за допомогою датчиків вологості повітря і температури, які встановлені перед камерою сушіння і після неї. Виміряні значення виводяться на пульт.

4.2.5 Особливості автоматизації сушильного комплексу

Основні особливості сушильних установок як об'єктів автоматизації:

- інерційність, яка є властива для протікання всіх теплових процесів;
- термічний процес сушіння за значного рівня випадкових збурень, який має слабкий взаємозв'язок між основними змінними;
- отримати основний регулюючий вплив досить складно, це відображає зміна кінцевої вологості;

Автоматизація сушильної установки має забезпечити [35]:

- контролювати основні технологічні параметри; захищати установку від аварійно небезпечного режиму роботи;
- автоматично регулювати основні чинники, що мають забезпечувати раціональний режим роботи установки;
- управління процесами сушіння і горіння пального, та контролювати основні параметри безпеки.

Автоматичне вимірювання і контроль призначені забезпечити оперативний персонал необхідною інформацією про стан робочого процесу або облад-

нання. Інформація надається безпосередньо або періодично у вигляді кількісних або якісних показників технологічного процесу.

Автоматична сигналізація призначена для передачі сигналів, для інформування обслуговуючого персоналу (оператора або диспетчера) про стан, можливі порушення роботи в технологічному обладнанні і відхил від норми параметрів. Супроводжується світловим та звуковим сигналом.

Автоматичний захист призначений для захисту обладнання при недопустимому порушенні режиму робочого процесу.

Пристрої автоматичного захисту повинні закінчити технологічний процес до того, як він стане неконтрольованим або забезпечують інші міри запобігання аварії.

Технологічно топка, теплообмінник і сушарка є єдиним комплексом (рис. 4.2), в якому задача топки – підготовка необхідної кількості теплоносія (Q_T) що має задану температуру (T_T), а сушарка – забезпечення необхідної вологості висушеного продукту (w_k).

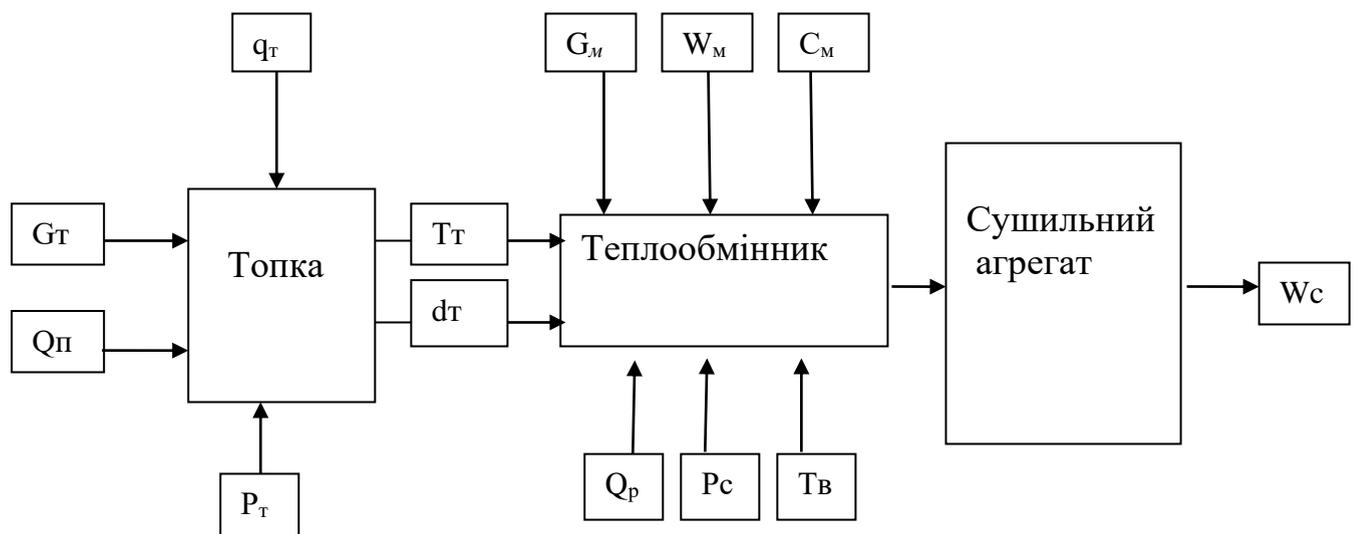


Рисунок 4.2 - Факторна модель сушильного комплексу

До управляючих параметрів топки відноситься кількість палива (G_T) і витрата повітря (Q_P), що подається до топки. Основними збуреннями на топ-

ку є теплота згоряння пального, яка визначається характеристиками пального (q_T).

Як проміжний вихідний параметр можна віднести тиск у топці (P_T), що показує збалансованість роботи тягодуттєвих пристроїв і безпеку при її експлуатації.

Головні вихідні параметри топки є вхідними для сушарки - температура та вологовміст теплоносія (d_T і T_T).

Вхідні (керовані) параметри управління сушаркою є навантаження на сушарку за висушуваним матеріалом (G_M) і кількість свіжого повітря, яке поступає до завантажувальної камери щоб розбавити теплоносій (Q_p). Збуренням в даному об'єкті може виступати початкова вологість сировини (W_M).

Як проміжні вихідні чинники візьмемо тиск в сушарці (P_c) і температуру теплоносія у в камері вивантаження (T_B) [36].

Параметри сушильного агента регулюються датчиками вологості та температури. Якщо не задовольняє температура сушильного агента то автоматично змінюється витрата димових газів, що призводить до збільшення або зменшення температури теплоносія. Якщо змінюється вологість теплоносія то це досягається тим що система автоматики збільшує або зменшую витрату димових газів які надходять в теплообмінник через повітропровід за допомогою шиберів.

4.2.6 Організація управління сушаркою на основі системного підходу

Представлення теплової схеми сушильної установки у вигляді складної системи: системний підхід дає зрозуміти що всі елементи в системі і всі операції в ній мають розглядатися як одне ціле, у взаємозв'язку однієї системи з іншою. Його можна застосувати на різному рівні – від якихось окремих ділянок до підприємства в цілому. Для кожного випадку об'єкт управління розглядають як цілісну систему. Управління буде тим ефективнішим, чим більш оптимально підібрано елементи в системі і скоординовано їх дію.

В даному випадку систему сушильної установки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК можна розглядати як підсистему теплової схеми, тому що тепла схема складається з трьох підсистем: твердопаливної топки, газоповітряного теплообмінника для утилізації відхідних газів та сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК.

Робота кожної з підсистеми залежить від загальної роботи системи і може впливати на всю систему загалом. Тому регулюючи параметри однієї системи, ми впливаємо на роботу всієї сушильної установки, яка змінює показники роботи теплової схеми. Існують п'ять принципів теорій системного підходу, і всіх їх можна застосувати до даної системи.

Перший принцип – система теплової схеми сушарки розглядається як одне ціле, а також її не дозволяється розглядати як просте об'єднання елементів. Ми розглядаємо теплову схему сушарки в цілому, а не об'єднання разом топки, теплообмінника та сушарки.

Другий принцип – в системі теплової схеми є свої властивості, але певні окремі елементи не мають таких властивостей як система загалом. Наприклад, властивості топки впливають на властивості інших елементів, зокрема на роботу теплообмінника, таким чином, що формуються нові властивості всієї системи. В даному випадку при зміні температури повітря на подачі змінюється витрата палива, внаслідок чого зростає витрата газів. Це в свою чергу призводить до зміни роботи газоповітряного середовища. Отже зміна властивостей однієї підсистеми впливає на зміну властивостей іншої підсистеми, що спричиняє зміну властивостей усієї системи в цілому.

Третій принцип – ефективність. Кожний елемент (топка, газоповітряний теплообмінник та сушильна установка) повинен працювати ефективно, тому що, наприклад, коли маємо низькі ККД топки чи теплообмінників, то це в свою чергу призведе до погіршення параметрів теплоносіїв, що в свою чергу погіршить процес протікання сушіння.

Четвертий принцип – систему не можна розглядати ізольовано від навколишнього середовища. Дана система входить до теплової схеми. Наприклад, якщо температура навколишнього середовища знизиться чи підвищиться, то

відповідно температура повітря на вході в газоповітряний теплообмінник знизиться чи підвищиться, яка в свою чергу і буде впливати на всю систему.

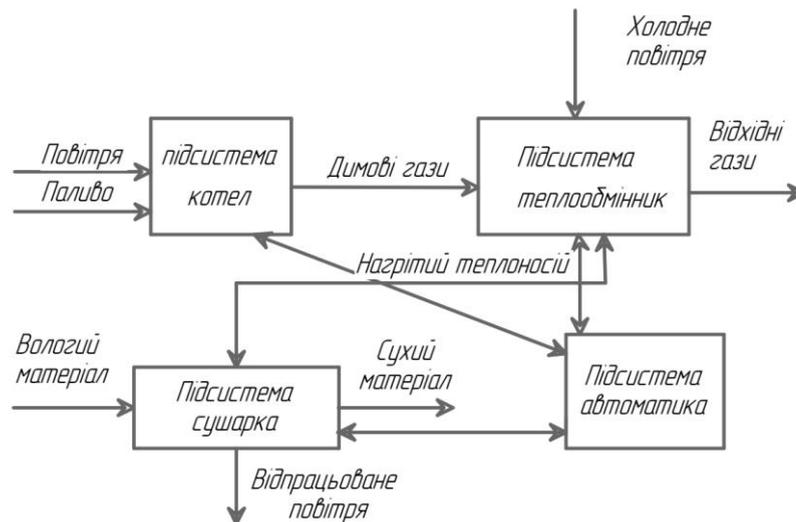


Рисунок 4.3 – Представлення теплової схеми сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК як складної системи.

П'ятий принцип – поділ системи на підсистеми. Теплову схему сушарки можна поділити на менші функціональні частини: топка, газоповітряний теплообмінник та сушильна установка, кожен з яких також можна поділити на менші функціональні частини. Наприклад, систему газоповітряного теплообмінника можна поділити на систему димових газів та систему повітря. Отже, таким чином наведені принципи допомагають визначити термін системи, як багаторівневої конструкції з взаємопов'язаних елементів, що об'єднують інші системи декількох рівнів, для того щоб досягти єдиної мети – ефективного функціонування великої системи [37].

4.2.7 Системи автоматичного регулювання параметрів (САР)

Параметри, які потрібно автоматично регулювати:

- температура сушильного агента на вході в сушильну камеру $t_{cm}=65^{\circ}\text{C}$;
- вологість сушильного агента на вході в сушильну камеру $\varphi_{cm}=5\%$.

4.2.7.1 САР регулювання температури сушильного агента на вході в сушильну камеру

У зв'язку із значним зростанням продуктивності установок важливе значення набувають задачі дистанційного контролю основних параметрів і автоматичного управління процесами сушки, особливо у високопродуктивних установок, а також в установок нового типу. Стрічкові сушарки являються складними об'єктами для автоматизації, так як стабільність режимів в них залежить від ряду параметрів, які взаємно впливають один на одного.

Відмітимо найбільш важливі параметри:

- температура сушильного агента при потраплянні в сушильну камеру;
- кількість сушильного агента при потраплянні в сушильну камеру;
- температура нагрівання матеріалу в процесі сушіння;
- кінцева вологість матеріалу при вивантаженні сушарки;
- тривалість перебування матеріалу в сушильній камері.

Керування температурою повітря на вході в робочу камеру та на виході з неї здійснюють по схемі, зображеній на рисунку 4.4.

Роль головної збурюючої дії відіграє зміна температури теплоносія на вході в сушарку. Внаслідок цих збурень процес сушіння є ненадійним.

Для надійності роботи процесу необхідне підтримання заданої температури теплоносія. Вимірювання температури теплоносія здійснюють датчиком температури DS18B20 [38].

Датчик температури DS18B20 є своєрідним цифровим термометром з діапазоном вимірювання від мінус 55 °С до +125 °С і точністю 0,5 °С в діапазоні від мінус 10 °С до + 85 °С. Такий температурний діапазон дозволить точно провести регулюючі дії, оскільки для стрічкової сушарки робочими температурами є 65 ± 5 °С.

Сигнали про відхил заданої величини температури подаються на пульт.

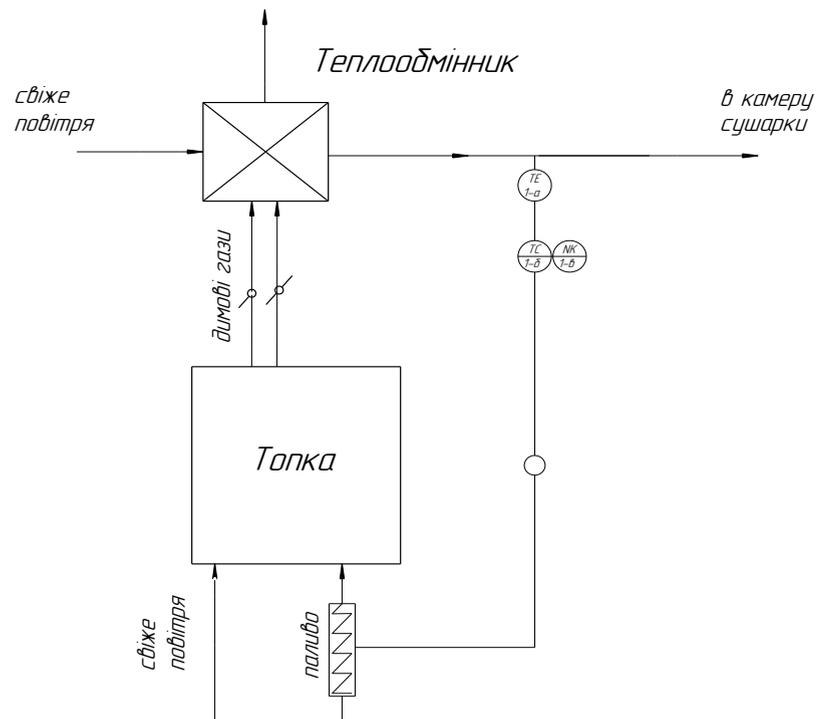


Рисунок 4.4 – Регулювання температури теплоносія на вході та виході з сушарки

4.2.7.2 САР вологості повітря на вході та виході з сушарки

Для надійності системи регулювання вологості повітря на вході та виході з сушарки необхідно автоматизувати процес регулювання. Автоматизований процес регулювання зображений на рисунку 4.5.

Вимірювання вологості відбувається за допомогою датчика НІН–4021–003 [9]. Даний датчик розроблений спеціально для промислових застосувань. Даний датчик є цифровим і працює за допомогою мікросхеми. Діапазон робочих температур мінус 40...+80 °С. Похибка вимірювання становить 3,5%.

В розробленні систем автоматичного регулювання процесу сушіння можна відмітити декілька основних етапів:

- створення приладів автоматичного регулювання параметрів сушильного агента (як правило, це системи стабілізації температури агента);
- створення приладів і систем автоматичного регулювання параметрів сушеного матеріалу: температури та вологості;

- дослідження і створення систем комплексної автоматизації процесу сушіння;

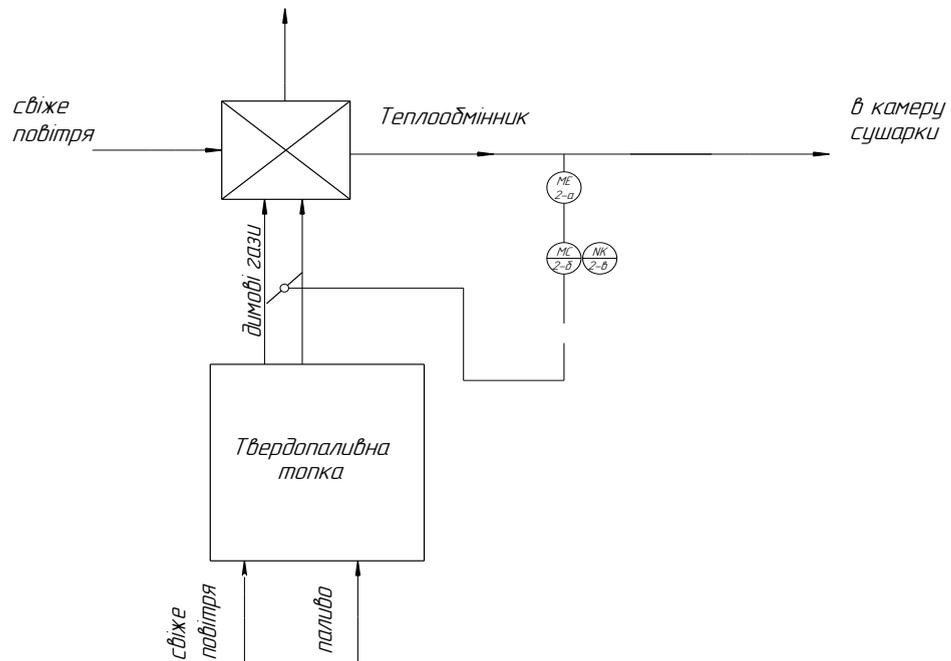


Рисунок 4.5 – Регулювання вологості повітря на вході до сушарки

Добре виконана система автоматичного регулювання процесу сушіння може дати значний техніко-економічний ефект, який полягає в зростанні продуктивності установки, скороченні витрати палива і енергії, зменшенні ручної роботи, підвищенні надійності роботи і покращення якості готового продукту.

4.2.8 Технологічний захист стрічкової сушарки

4.2.8.1 Повне відключення

При відключенні циркуляційного вентилятора відбувається автоматичне вимкнення сушарки. При цьому подаються світлові сигнали до щита управління. Зображення схеми автоматизації при повному відключенні системи зображено на рисунку 4.6.

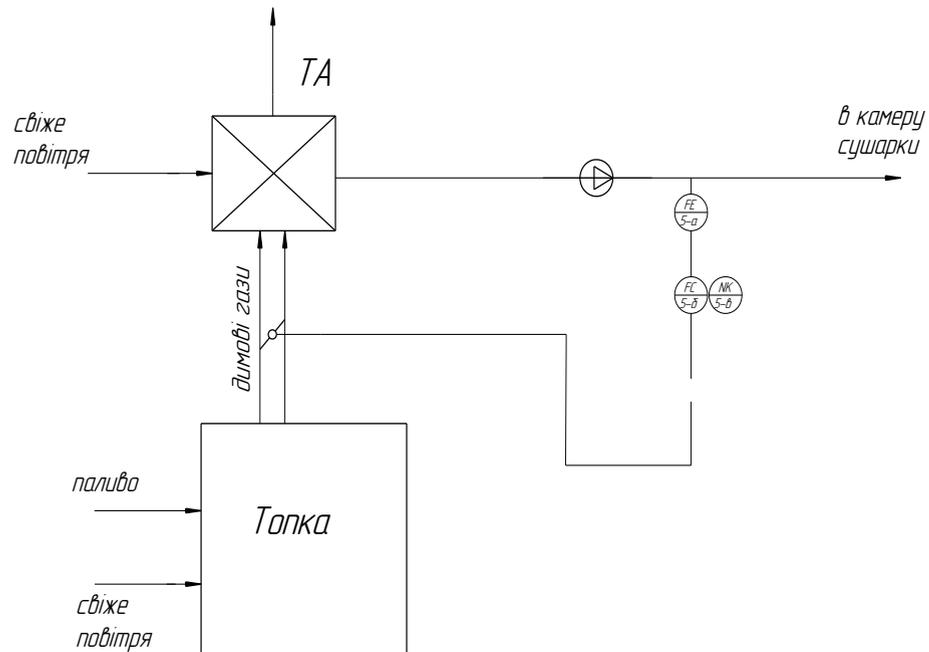


Рисунок 4.6 – Схема повного відключення.

Повне відключення відбувається так. Якщо циркуляційний вентилятор виходить з ладу, теплоносій не надходить в сушарку. Тоді автоматично переключаються засувки на вентиляторі і витяжному димососі. Заслонка перекриває хід димовим газам у газоповітряний теплообмінник і гази відразу викидаються до атмосфери. Викид відпрацьованого повітря перекриває заслонка перед витяжним вентилятором і відключається нагрівання повітря.

4.2.9 Технологічний контроль фізичних величин

Робота схеми теплового обладнання, зокрема сушарки, є досить складним процесом, тому необхідно вести контроль за технологічними процесами, що відбуваються. Для контролю і забезпечення безпеки установки потрібні контрольно-вимірювальні прилади, які:

- визначають та записують експлуатаційні параметри, наприклад температури;
- сигналізують про експлуатаційні умови, наприклад про несправність витяжного вентилятора, про зміну технологічних параметрів;
- контролюють параметри сушарки і режими роботи, а також сигналізують якщо перевищені граничні значення або є пошкодження;

– контролюють експлуатаційний режим для аварійної ситуації і проводять операції щоб запобігти аваріям і пошкодженням, наприклад: захищають від високих температур, захист від збоїв у технологічному процесі.

Контроль за температурами особливо важливий, оскільки їх зміна може призвести до пошкодження продукції. Задля забезпечення технологічного контролю необхідно встановити контроль за наступними параметрами:

- контролювати температуру теплоносія на вході в сушарку (1-1);
- контролювати температуру теплоносія на виході з робочої камери (3-1);
- контроль вологості теплоносія на вході в сушарку (2-1);
- контролювати вологість теплоносія на виході з робочої камери (4-1.)

Забезпечивши контроль за всіма перерахованими параметрами, забезпечують безперебійність роботи усієї системи.

4.2.10 Технологічна сигналізація

В разі відхилення режимів роботи, на пульті керування мають передбачити попереджувальну сигналізацію. Якщо температура теплоносія на вході в сушарку відхиляється від заданої, про це оператора попереджує світловий сигнал.

Якщо відключається нагнітальний вентилятор повинно відбутися повне відключення при цьому подається звуковий сигнал. Причину аварійного стану показує аварійна сигналізація. В схемі управління передбачено три режими роботи. Основним режимом роботи є автоматичний. В ньому захист із аварійною сигналізацією включені в повних об'ємах і забезпечують вимикання нагнітальної машини за аварійних відхилень параметрів.

Для режиму напівавтоматичного управління і аварійна сигналізація і захист також працюють в повному об'ємі. Нормальним положенням реле контролю технологічних параметрів є ввімкнене.

Для роботи в режимах місцевого управління передбачено тільки захист вентилятора по тиску нагнітання і теплові реле. Цей режим налагоджувальний. Експлуатація заборонена.

4.2.11 Вибір варіатора

При використанні стрічкового транспортера (конвеєра) в стрічковій сушарці з'являється можливість регулювання вологості w_k зміною швидкості руху транспортерної стрічки за допомогою варіатора.

Регулювання обертів привідних двигунів дає можливість змінювати швидкість переміщення транспортерної стрічки адаптуючи її до перебігу всіх технологічних процесів, який в загальному випадку не є постійним.

Можливості плавного запуску різко збільшуватиме ресурси механізмів оскільки відсутні ударні навантаження коли вибираються люфти під час запуску стрічки.

Швидкості обертання роторів асинхронних машин регулюють або зміною частот струму живлення, або змінами числа пар полюсів в первинній обмотці (ступеневе регулювання), або, змінами ковзання. Ковзання можна змінювати активними опорами, які підключають до вторинного кола асинхронної машини, каскадної схеми, або змінюють напругу, підведену до первинної обмотки двигуна [41]. Для регулювання швидкості асинхронних двигунів застосовують амплітудний, фазовий, амплітудно-фазовий і частотний способи управління [42].

Найбільш перспективним способом є регулювання частот обертання асинхронної машини, воно вирізняється високим енергетичним показником і дозволяє міняти частоту обертання як більше, так і менше від синхронної частоти.

Способи регуляції частоти обертання визначаються видом залежностей моментів опору стрічкового механізму від частоти обертання $M = f(n)$, та значеннями моменту опору. Порівняно просто відбувається регулювання частоти обертання асинхронних двигунів якщо змінювати напругу живлення, цього можна досягти різними способами. Найпопулярнішими є тиристорні регулятори напруги.

Суть такого способу полягає в зміні частоти напруги на клеммах електродвигунів, що призведе до зміни частоти обертання магнітного поля статора, тобто частоти обертання ротора двигуна

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (4.5)$$

де f – частота напруги живлення;

p – число пар полюсів.

Якщо виконується частотне регулювання тоді асинхронні двигуни живляться від перетворювача частоти, який забезпечить плавну зміну частоти та амплітуди напруги живлення. За збереження значення напруги сталим і зміни частоти міняється магнітний потік в двигуні, і відповідно електромагнітний момент, та втрати в сталі і в обмотках. Для механізму, в якого сталий момент опору (який не залежатиме від частот обертання) закон записують так

$$\frac{U}{f} = \frac{U_{\text{ном}}}{f_{\text{ном}}} = \text{const}, \quad (4.6)$$

де f , U – значення частоти обертання статора і напруги на регульовальній характеристиці;

$U_{\text{ном}}$, $f_{\text{ном}}$ – номінальні значення частоти обертання статора і напруги.

Частотне регулювання виконується плавно і в досить широких діапазонах, які досягають значень 40:1. Верхню межу частоти обертання обмежує максимально допустима частота обертання, що залежить від механічної міцності ротора. Мінімальну межу частоти обертання обмежує можливість одержання в перетворювачах частоти стійкої низької частоти.

Для автоматичного регулювання використовують систему на основі спеціального регулятора, на вхід якого подають задавальний сигнал, що виробляє датчик регульованого параметра (наприклад вологість теплоносія), як представлено на схемі рис. 4.7.

Задаючий сигнал можна подавати від зовнішніх пристроїв, зокрема програмних, наприклад, контролерів або пультом управління. Регулятори формують керуючі сигнали для перетворювача частоти, котрий через зміну швидкості

обертання електродвигуна підтримуватиме керовані величини такими, що дорівнюють заданій.

Для безпечної експлуатації такі системи містять необхідний набір захисних функцій:

- захист від перенапруження;
- захист від короткого замикання;
- захист від перегрівання;
- захист від тривалих струмових перевантажень;

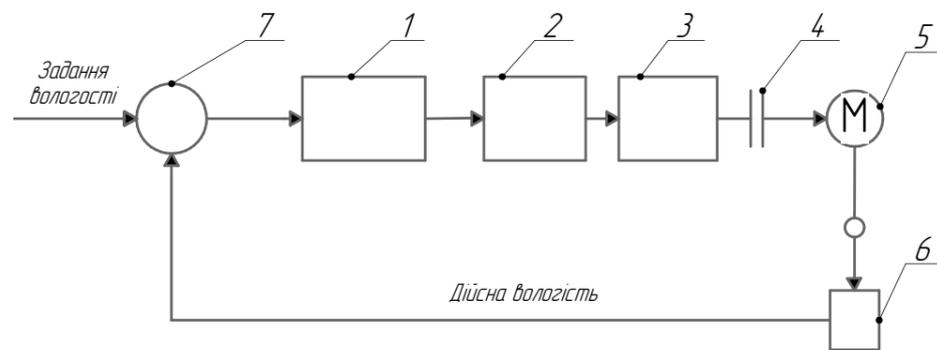


Рисунок 4.7 – Схема автоматичного управління перетворювачами частоти

- 1 – регуляторний блок; 2 – частотний перетворювач; 3 – блок живлення двигуна; 4 – муфта; 5 – асинхронний електродвигун; 6 – датчик вологості;
7 – блок порівняння

Для зручності роботи вводять спеціальні функції, які дозволяють системі визначати аварійні ситуації. Наприклад, якщо стрічка обривається, зменшується навантаження на вал двигуна, бо привідні зубчасті барабани крутяться без навантаження. Двигуни варіаторів починають працювати на холостому ході, тоді системою подаються попереджувальні сигнали про аварію.

У разі блокування (заклинювання) стрічки навантаження на вал двигуна зростає і перетворювач збільшує оберти двигуна. Якщо блокування незначне (наприклад, шматок сировини попав між стрічкою і направляючими роликками) стрічка продовжує рухатися далі.

Якщо заклинювання серйозне (наприклад, внаслідок перекосу стрічки в роликах) то при досягненні максимально допустимого навантаження на двигуни система подає попереджувальні сигнали і зупиняє двигуни.

Використання перетворювачів частоти дає змогу зниження експлуатаційних витрат на електроенергію до 50 %. При цьому можна істотно підвищити ресурс електричного та механічного пристроїв оскільки зменшується знос, знижуються витрати на технічне обслуговування обладнання і його ремонт.

З врахуванням вищесказаного для управління частотою обертання валів приводів стрічок виберемо перетворювач частоти SFM310 7,5 кВт, параметри і характеристики якого показані в таблиці 4.7 [42].

Таблиця 6.1 – Характеристики перетворювача частоти SFM310 7,5 кВт

Характеристика	Значення
Виробник	АС Привод
Країна виробник	Україна
Потужність	7.5 кВт
Захист від перевантажень	Так
Ступінь захисту	IP20
Тип робочої величини	Частота
Номінальна вихідна напруга	380~400 В
Захист від короткого замикання	Так
Кількість фаз живлення	3
Перевантажувальна здатність	150%
Номінальна вхідна напруга	380 В

Висновки до розділу 4

В даному розділі розроблено монтаж сушильного комплексу ТТ400-ЛС-2,82-12-НК з встановленням теплообмінника рекуператора і батареї циклонів. Розраховано основні та допоміжні матеріали, такі як: теплообмінник FP 450 Ду 250, маса якого 445кг; відцентрові вентилятори ВЦ 4-76 №6.3 масою – 33кг; циклон ЦН 15-500-2УП масою – 660кг. Повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н 400×200мм, масою – 36,45кг; повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н

Ø250 мм, Ø200 мм, масою – 72,8кг і 2,51кг. Загальна маса обладнання складає 2258,85кг.

Підібрано автомобіль, та наведені його технічні характеристики «Scania R 420», вантажопідйомність до 12000 кг. Розраховано необхідну кількість пального для доставки обладнання складає 119,616 л.

Визначено склад і об'єм робіт. Визначено трудомісткість виконаних монтажних робіт 36,2877 люд/дні. Визначено тривалість монтажних робіт 16,26 днів. Визначено склад бригади і підібрано монтажні інструменти.

Розроблено заходи з технології та організації монтажних робіт на системі.

Виконані розрахунки дозволили скласти календарний графік монтажу системи, графік руху робітників та графік руху машин і механізмів.

Здійснено автоматизацію модернізованої стрічкової сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК для сушіння шматкових матеріалів.

В результаті проведений аналіз можливостей і засобів автоматичного управління процесом сушіння в стрічковій сушарці, розглянуто стрічкову сушарку як об'єкт автоматизації, вибрано основний регульований параметр, яким є кінцева вологість висушуваного продукту.

Розроблені системи автоматичного регулювання температури сушильного агента на вході в сушильну камеру та регулювання вологості теплоносія на вході і виході з робочої камери сушарки.

Розроблено заходи з технологічного захисту, а саме випадки повного та часткового відключення сушарки, технологічного контролю і сигналізації фізичних величин.

Досліджено придатність частотного регулятора обертів валу асинхронного двигуна в якості варіатора для зміни швидкості руху стрічок сушарки. Запропоновано для сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК вибрати перетворювач частоти SFM310 7,5 кВт.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Кошторисна вартість

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог КНУ Настанова з визначення вартості будівництва [43] і використовували кошторисну програму “Будівельні технології-Кошторис”.

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, на пуск і налагоджування обладнання об’єктний кошторис за допомогою програмного комплексу (табл.5.1-5.4) 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 загальновиробничих витрат.

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

Загальновиробничі 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.

Сушильний комплекс
(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.1 -Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 02-006-001

придбання обладнання. вентиляція

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

ОСНОВА: креслення(специфікації) № _____, відомості тощо
Кошторисна вартість 165,742 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	2308-1005	Вентилятор радіальний В-ЦЧ-70-6,3а з електродвигуном ЧА132МЧ	шт	2.0	25003.36	50007
2	2309-1002	Циклон ЦН 15-500-2УП	шт	2.0	34979.57	69959
3	1905-4068	Теплообмінник FP 405 Ду 200	комплект	1.0	39513.37	39513
Разом						159479
Транспортні та заготівельно-складські витрати						6263
Всього по кошторису						165742

Склав

_____ [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

_____ [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

сушильний комплекс
(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.2 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-006-002

на _____ пуск і наладка. вентиляція
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)ОСНОВА:
креслення(специфікації)№Кошторисна вартість 11.502 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.08914 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 8.878 тис. грн.
Середній розряд робіт 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 об- слуговуван- ням машин	
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	заробітної плати	експлуа- тації машин	тих, що обслуговують ма- шини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КПЗ-2-13	Вентилятор радіальний (відцентровий)	Пристр.	2.0	1180.68	-	2361	2361	-	12.0000	24.00
					1180.68	-			-	-	-
2	КПЗ-35-2	Теплообмінник	Пристр.	1.0	1771.02	-	1771	1771	-	18.0000	18.00
					1771.02	-			-	-	-
3	КПЗ-47-1	Циклон	Пристр.	2.0	1967.80	-	3936	3936	-	20.0000	40.00
					1967.80	-			-	-	-
		Разом прямих витрат по кошторису					8068	8068			82.00
		Разом прямі витрати				грн.	8068				
		в тому числі:									
		заробітна плата робітників				грн.		8068			
		всього заробітна плата				грн.		8068			
		Загальновиробничі витрати				грн.	3434				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					7.14
		Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн									63_лк 02-006-002
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		810			
		Всього по кошторису				грн.	11502				
		Кошторисна трудоємність				люд-г					89.14
		Кошторисна заробітна плата				грн.		8878			

Таблиця 5.3 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-006-003

на _____ монтаж обладнання.
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість 91.892 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.48902 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 35.535 тис. грн.
Середній розряд робіт 3.5 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	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
					6	7	8	9	10	11	12
1	KM7-169-1	Монтаж вентилятора	шт	2.0	1105.34	30.51	2211	1567	61	11.2000	22.40
					783.66	7.14			14		
2	KM4-161-6	Монтаж циклона	шт	2.0	7721.73	1169.90	15443	10083	2340	70.4000	140.80
					5041.34	313.46			627		
3	KM6-281-5	Монтаж теплообмінника	т	0.445	28338.30	1520.35	12611	10633	677	350.0000	155.75
					23894.50	263.44			117		
4	KB20-1-10	Прокладання повітроводів із листової сталі класу Н (нормальні) товщиною 0,7 мм, периметром від 1100 до 1600 мм	100 м2 поверхні повітроводів	0.0744	69713.74	394.06	5187	1028	29	207.4000	15.43
					13819.06	122.80			9		
5	KB20-1-4	Прокладання повітроводів із листової сталі класу Н (нормальні) товщиною 0,6 мм, діаметром до 250 мм	100 м2 поверхні повітроводів	0.1931	76158.98	504.11	14706	3368	97	261.8000	50.55
					17443.73	153.03			30		
6	KB20-13-1	Установлення клапанів зворотних діаметром до 355 мм	клапан	2.0	2462.11	7.10	4924	236	14	1.7500	3.50
					118.04	1.95			4		

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	КБ20-15-1	Установлення заслінок повітряних і клапанів повітряних КВР з електричним або пневматичним приводом діаметром до 250 мм	шт	5.0	1450.33	10.65	7252	823	53	2.4100	12.05
					164.53	2.93			15	0.0399	0.20
8	КБ20-15-3	Установлення заслінок повітряних і клапанів повітряних КВР з електричним або пневматичним приводом діаметром до 560 мм	шт	2.0	2382.13	17.75	4764	464	36	3.4000	6.80
					232.12	4.88			10	0.0665	0.13
9	КБ20-13-2	Установлення клапанів зворотних діаметром до 560 мм	клапан	1.0	3082.41	10.65	3082	147	11	2.1800	2.18
10	КБ26-1-5	Ізоляція трубопроводів діаметром від 159 до 273 мм (циліндрами)(напівциліндрами)(сегментами з пінопласту), товщина ізоляційного шару 40 мм	10м трубопроводу	2.334	147.04	2.93	2883	752	3	0.0399	0.04
					1235.25	85.20			199	4.7200	11.02
11	КБ26-1-7	Ізоляція трубопроводів периметром 400*200 мм(циліндрами)(напівциліндрами)(сегментами з пінопласту), товщина ізоляційного шару 40 мм	10м трубопроводу	0.6206	322.23	23.40	3214	1219	55	0.3192	0.75
					5179.47	141.99			88	29.8700	18.54
					1963.95	39.00			24	0.5320	0.33
		Разом прямих витрат по кошторису					76277	30320	3605		439.02
									908		12.09
		Разом прямі витрати				грн.	76277				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	42352				
		вартість ЕММ				грн.	3605				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		908			
		заробітна плата робітників				грн.		30320			
		всього заробітна плата				грн.		31228			
		Загальновиробничі витрати				грн.	15615				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					37.91
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		4307			
		Всього по кошторису				грн.	91892				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					489.02
		Кошторисна заробітна плата				грн.		35535			

Таблиця 5.4 - Об'єктний кошторис

Кошторисна вартість	269.136 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0.57816 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	44.413 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 інвентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	02-006-001	придбання обладнання		165.742	165.742	-		
2	02-006-002	пуск і наладка	11.502		11.502	0.08914	8.878	
3	02-006-003	монтаж обладнання	91.892		91.892	0.48902	35.535	
		Всього по кошторису	103.394	165.742	269.136	0.57816	44.413	

Головний інженер проекту
(Головний архітектор проекту)

[підпис (ініціали, прізвище)]

Загальні витрати проєкту представлені в таблиці 5.5, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості влаштування обладнання (значення приймається із об'єктного кошторису таблиці 5.4).

Таблиця 5.5– Перелік інноваційних витрат

Орієнтовна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проєкту	1	1	2,69
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	0,54
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	4,04
Проектування	2,5	4	6,73
Експертиза інноваційного рішення	1	1	2,69
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	5,38
Виготовлення нового виробу	100	6	269,136
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проєктних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	8,07
Витрати на підготовку кадрів	5	2	13,46
Всього		21	312,74

5.2 Показники комерційної ефективності проєкту

Показники комерційної ефективності проєкту представлені в таблиці

5.6.

Таблиця 5.6 – Показники комерційної ефективності проєкту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-22,07	-421,667	212,16	215,81	204,78	206,79	105,09
2	Сальдо реальних грошей	-22,07	47,35312	212,16	173,58	162,55	168,68	71,10
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-22,07	25,28397	237,45	411,03	573,58	742,26	813,37
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)	-25,60	-421,67	182,90	160,38	131,19	114,21	50,04
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-25,60	-447,27	-264,37	-103,98	27,21	141,42	191,46

З таблиці 5.6 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на 2 році реалізації проєкту.

5.3 Оцінювання економічної ефективності інноваційного проєкту

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.

$$NV = 500,91 \text{ тис. грн.}$$

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 η_t - коефіцієнт дисконтування.

Норма дисконту $E = 0,16$.

$$NPV = 191,46 \text{ тис. грн.}$$

Якщо $NPV > 0$, то проект можна рекомендувати до реалізації, якщо $NPV < 0$, то проект необхідно відхилити, в разі $NPV = 0$, то приймають рішення про реалізацію проекту, оскільки інвестори не отримають доходів на вкладений капітал.

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

5.4 Термін окупності інвестицій

Термін окупності

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

Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом

Кумулятивний метод [44,45] 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 5.7.

Таблиця 5.7 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-25,60	-421,67	182,90	160,38	131,19	114,21	50,04
Кумулятивна	-25,60	-447,27	-264,37	-103,98	27,21	141,42	191,46

Як видно з таблиці 5.7 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 2 та 3 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати:

$$T = 2 + 103,98 / 131,19 = 2,79 \text{ років.}$$

Висновки до Розділу 5. Складено кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, на пуск і налагоджування, об'єктний кошторис. В кошторисах пораховано:

- кошторисна вартість $K_B = 269,136$ тис. грн.;
- кошторисна заробітна плата ЗП = 44,41 тис. грн.;
- кошторисна трудомісткість $T = 0,58$ тис. люд –год

Розраховано основні показники ефективності інвестицій в проект:

- чисті грошові надходження – 500,91 тис. грн.;
- чиста поточна вартість –191,46 тис. грн.;
- термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 2,8 роки.

ВИСНОВКИ

Аналіз ексергетичного балансу стрічкової сушильної установки показує, що корисні витрати ексергії (які йдуть на випаровування вологи) незначні і складають 14,5%. Якщо джерелом теплоти для сушіння є парові калорифери то найбільші втрати ексергії відбуваються саме в них і досягають 50,41%. Зменшити ексергетичні втрати в калорифері можна через зменшення тиску грійної пари. Слід відмітити, що втрати з відпрацьованим теплоносієм в ексергетичному балансі складають приблизно 8%, а в тепловому – 33,2%. Такі порівняно малі ексергетичні втрати з відпрацьованим теплоносієм можна пояснити його низьким тепловим потенціалом. Як видно, втрати ексергії на нагрів матеріалу складають 0,12%, перегрів транзитної вологи (тієї, що поступає в сушарку з свіжим повітрям) – 0,25% , а на нагрів вологи в сировині – 46%.

Суттєво відрізняються енергетичний і ексергетичний ККД. Енергетичний ККД, визначений із теплового балансу сушарки, рівний 52%, а ексергетичний, котрий відображає термодинамічну досконалість установки, становить 14,5%. На нашу думку, це викликано тим, що енергетичний ККД явища незворотності процесів тепло- і масообміну не враховує.

В результаті роботи і проведення числового експерименту на математичній моделі можна зробити висновок, що суттєвого підвищення ефективності сушильних установок можна досягти за рахунок вдосконалення їх нагрівальних пристроїв і зниження в них втрат.

Слід також відзначити, що хоча ексергетичний аналіз виявляє можливість вдосконалення термодинамічних процесів, але тільки повне врахування економічних факторів дозволяє оцінити раціональність того чи іншого покращення.

В МКР розроблено монтаж сушильного комплексу ТТ400-ЛС-2,82-12-НК з встановленням теплообмінника рекуператора і батареї циклонів. Розраховано основні та допоміжні матеріали, такі як: теплообмінник ФР 450 Ду 250, маса якого 445кг; відцентрові вентилятори ВЦ 4-76 №6.3 масою – 33кг; циклон

ЦН 15-500-2УП масою – 660кг. Повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н 400×200мм, масою – 36,45кг; повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н Ø250 мм, Ø200 мм, масою – 72,8кг і 2,51кг. Загальна маса обладнання складає 2258,85кг.

Підібрано автомобіль, та наведені його технічні характеристики «Scania R 420», вантажопідйомність до 12000 кг. Розраховано необхідну кількість пального для доставки обладнання складає 119,616 л.

Визначено склад і об'єм робіт. Визначено трудомісткість виконаних монтажних робіт 36,2877 люд/дні. Визначено тривалість монтажних робіт 16,26 днів. Визначено склад бригади і підібрано монтажні інструменти.

Розроблено заходи з технології та організації монтажних робіт на системі.

Виконані розрахунки дозволили скласти календарний графік монтажу системи, графік руху робітників та графік руху машин і механізмів.

Здійснено автоматизацію модернізованої стрічкової сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК для сушіння шматкових матеріалів.

В результаті проведений аналіз можливостей і засобів автоматичного управління процесом сушіння в стрічковій сушарці, розглянуто стрічкову сушарку як об'єкт автоматизації, вибрано основний регульований параметр, яким є кінцева вологість висушеного продукту.

Розроблені системи автоматичного регулювання температури сушильного агента на вході в сушильну камеру та регулювання вологості теплоносія на вході і виході з робочої камери сушарки.

Розроблено заходи з технологічного захисту, а саме випадки повного та часткового відключення сушарки, технологічного контролю і сигналізації фізичних величин.

Досліджено придатність частотного регулятора обертів валу асинхронного двигуна в якості варіатора для зміни швидкості руху стрічок сушарки. Запропоновано для сушарки ТТ400-ЛС-2,82-12-НК вибрати перетворювач частоти SFM310 7,5 кВт.

Складено кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж облад-

нання, на придбання обладнання, на пуск і налагоджування, об'єктний кошторис. В кошторисах пораховано:

- кошторисна вартість $K_v = 269,136$ тис. грн.;
- кошторисна заробітна плата ЗП = 44,41 тис. грн.;
- кошторисна трудомісткість $T = 0,58$ тис. люд –год

Розраховано основні показники ефективності інвестицій в проект:

- чисті грошові надходження – 500,91 тис. грн.;
- чиста поточна вартість –191,46 тис. грн.;
- термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 2 роки 10 місяців.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки: навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2008. 98 с.
2. Паламарчук І. П. Цуркан О. В. Зозуляк О. В. Герасімов О. О. Інтенсифікація процесів зневоложення насіння за рахунок використання вібраційного та електроосмотичного ефектів // *Вібрації в техніці та технологіях*. №1, 2012. С, 110-114.
3. Гусарова О. В., Шапар Р. А. Вплив параметрів сушильного агента та умов зневоднення на кінетику вологообміну. // *Грааль науки*, 2021. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.02.2021.041> Дата звернення 10.11.2025.
4. Співак О. Ю. Використання сушарок побутового класу для обігрівання присадибних теплиць [Електронний ресурс] / О. Ю. Співак, Н. С. Педченко, Н. О. Ткач // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. Електрон. текст. дані. 2022. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15020>. Дата звернення 27.11.2025 [3].
5. Співак О.Ю. Вплив відносної вологості оточуючого середовища на вологовміст теплоізоляційних матеріалів / О. Ю. Співак, Н. С. Педченко, І. С. Матола // Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 24-27 березня 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/48811> . Дата звернення 27.11.2025 [4].
6. Ткаченко С. Й. Темп охолодження (нагрівання) ньютонівської рідини за умов вільної конвекції / С. Й. Ткаченко, О. Ю. Співак, О. В. Власенко, Н. С. Педченко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві -2022» Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16714> Дата звернення: 27.11.2025 [5].

7. Szargut J. Exergy method: technical and ecological application . Wit press, Southampton, Boston, 2005. 160 p.
8. Арсеньєв В. М., Шарапов С. О. Методи термодинамічного аналізу термомеханічних систем: основи теорії, приклади та завдання : навч. посібн. Суми : Сумський державний університет, 2022. 322 с.
9. Rant Zoran. Termodinamika : knjiga za uk in prakso / Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2000. 644 s.
10. Оцінка потоків енергії/ексергії та їх втрат у системі «джерело тепла – огороджувальні конструкції – оточуюче середовище»: метод. вказ. до викон. комп. практикуму з дисципліни для студ. спец. 144 «Теплоенергетика», спеціалізація «Енергетичний менеджмент та інжиніринг» / Уклад.: Дешко В. І., Буяк Н. А., Суходуб І. О. Київ: ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 36 с.
11. Ексергетичний аналіз. URL : https://pidru4niki.com/70578/tehnika/eksergetichniy_analiz Дата звернення 15.11.2025.
12. Дешко В. І., Волощук В. А., Буяк Н. А. Ексергетичний аналіз систем створення теплового комфорту у будівлях. : монографія. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 296 с.
13. Shargut, Ya., Petela, R. Ekssergiya. Moskow: Energiya, (1968). 278 p.
14. Kotas T.J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. Krieger publishing company, Malabar, Florida, 1995. 328 p.
15. Petela R. Thermal Radiation Exergy / Sat. "Problems of thermodynamic analysis (exergy method). Ed. "The World" Moskow: 1965, p. 222-237.
16. Кундрат А.М., Кундрат М.М. Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel : навч. посібн. Рівне: НУВГП, 2014. 252 с.
17. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі. навч посібн. Вінниця: ВНТУ, 2014. 116 с.
18. ДБН А.3.1-5:2016 "Організація будівельного виробництва". Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 54 с.

19. П'ятий океан плюс. Кондиціонування і вентиляція [Електронний ресурс]: URL: https://www.5-ocean.com/?gad_source=1&gclid Дата звернення 20.11. 2025.
20. VENTS. Каталог продукції [Електронний ресурс]: URL: <https://vents.ua/catalog/radial-fans/> Дата звернення 20.11. 2025.
21. Вент-Заводи. Меню [Електронний ресурс]: URL: <https://7-vz.com/ua/> Дата звернення 23.11. 2025.
22. Промислові рекуператори. [Електронний ресурс]: URL: <https://www.furnace.kiev.ua/ua/promyshlennyye-rekuperatory> Дата звернення 30.11. 2025.
23. Відцентровий (радіальний) вентилятор високого тиску HBB, Venture. [Електронний ресурс]: URL: <https://polvent.com.ua/ua/tovar-tsentrobezkhnyiy-radialnyiy-ventilyator-3/> Дата звернення 30.11. 2025.
24. Перфоратор Makita [Електронний ресурс]: URL: <https://www.makita.ua/> Дата звернення 30.11. 2025.
25. Інструмент Dewalt [Електронний ресурс]: URL: <https://dewalt.lviv.ua/ru/katalog/?srsltid> Дата звернення 30.11. 2025.
26. 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.
27. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 26. Теплоізоляційні роботи. Чинний від 2021-12-31. Київ: Мінрегіон України, 2021. 86 с.
28. Scania R420 [Електронний ресурс]:- URL: <https://auto.ria.com/uk/truck/scania/r-420/> Дата звернення 3.12. 2025.
29. 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.
30. ДСТУ ГОСТ 3845:2019 Труби металеві. Метод випробування гідростатичним тиском (ГОСТ 3845-2017, ІДТ) Москва : Стандартиформ, 2017. 56 с.

31. Стрічкові сушарки. BMSERVICE. URL : <https://bmholod.com.ua/solution/ustatkuvannya-dlya-sushinnya/strichkovi-susharky/> Дата звернення 17.11.2025р.
32. Енергоефективні технології та техніка сушіння харчової сировини : навч. посібник / М. І. Погожих, В. О. Потапов, А. О. Пак, М. В. Жеребкін. Харків : ХДУХТ, 2016. 234 с.
33. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління. [Електронний ресурс] / Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 155 с.
34. Технічні засоби автоматизації (Частина 1) / М.В. Лукінюк, В.П. Лисенко, В.Є. Лукін, А.М. Гладкий, С.А. Шворов, А.А. Руденський, А.А. Заверткін. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2017. 569 с.
35. Система автоматизації сушильно-охолоджувального комплексу. URL : https://magmas.com.ua/projects/aksuu/aksuu_sushka.php Дата звернення 18.11.2025р.
36. Папушин Ю.Л., Білецький В.С. Основи автоматизації гірничого виробництва. Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. 168 с.
37. Використання графових моделей кінцевих автоматів у системах автоматизації складних нестационарних технологічних об'єктів / Білецький М.С., Крищенко Д.О., Ладанюк А.П., Кишенько В.Д. Міжнародний науковий журнал «Грааль науки», № 4 (Травень, 2021) <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.05.2021.041> Дата звернення 18.11.2025р.
38. Датчик температури DS18B20 (18B20) цифровий. URL : <https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-temperatury-ds18b20> Дата звернення 18.11.2025р.
39. Датчики вологості серій НІН-4010/4020/4021. URL : <https://www.kosmodrom.ua/ru/datchik-vologosti/hih-4021-003.html> Дата звернення 18.11.2025р.
40. Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінни-

ця : ВНТУ, 2023. 159 с.

41. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини : навч. посіб. / В.В. Грабко, М.П. Розводюк, С.М.Левицький, М.О. Казак: Вінниця: ВНТУ, 2007. 197 с.

42. Перетворювач частоти SFM310-7,5. URL : <https://www.acprivod.ua/uk/produksiya-2/cfm310/> Дата звернення 18.11.2025р.

43. Настанова з визначення вартості будівництва. URL : <https://radnuk.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/knu-nastanova-z-vyznachen-nya-vartosti-budivnycztva.pdf> Дата звернення 30.11.2025р.

44. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Інвестування» / Укл. Бормотова М. В. Харків : ХГА, 2016. 23 с.

45. Череп А. В. Інвестознавство: Підручник. Київ: Кондор, 2006. 398 с

ДОДАТКИ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Тепломасообмінні процеси в конвективних стрічкових
ушарках

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 3,5 %

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)

Співак О.Ю.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Співак О.Ю., доцент каф. ТЕ

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Педченко Н.С.

(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)

УЗГОДЖЕНО

Микола Володимир

2025 р.



ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри ТЕ

Д. В. Степанов

Ініціали та прізвище

2025 р.



ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на магістерську кваліфікаційну роботу

ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ В КОНВЕКТИВНИХ СТРІЧКОВИХ
СУШАРКАХ
08-15.МКР.006.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи:
к.т.н., доц. кафедри ТЕ

Співак О. Ю.

Виконавець:
Студент гр. ТЕ-24м

Педченко Н.С.

1 Найменування та область застосування

Модернізація стрічкової сушарки стосується сільського господарства, а саме підприємств по переробці овочів та фруктів. Робота спрямована на зменшення ексергетичних втрат сушарки – усунення основного недоліку цього виду сушарок.

2 Основа для проведення розробки

Наказ ректора ВНТУ № 313 від 24.09.2025 р.

Основою для розробки стала технічна документація на сушарку та ексергетичні баланси. Розрахунки по підвищенню енергоефективності сушарки, а саме розрахунки параметрів утилізації низькопотенційної теплоти, літературні джерела, патентна документація та розробки кафедри ТЕ ВНТУ .

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є 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 Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2014. 112 с.

3.3 Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки тепломасообмінних апаратів : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2006. 129 с.

3.4 Воронін Л.Г., Степанюк А. Р., Ружинська Л. І. Основні залежності та приклади розрахунків теплообмінних апаратів: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 68 с.

4 Мета та призначення розробки

Метою розробки є ексергетичний аналіз та розрахунок роботи сушарки. Модернізація буде проведена з метою зменшення ексергетичних втрат,

підвищення енергоефективності, утилізації теплоносія та зменшення теплових і пилових викидів в атмосферу.

5 Технічні вимоги

- теплова потужність 700 кВт;
- повітрообмін 34000 м³/год;
- видатність установки за висушеним продуктом 115 кг/год;
- вологість продукту: початкова 84 %; кінцева 14 %;
- температура теплоносія: на вході в сушильну камеру 90 °С; на виході з сушильної камери 50 °С;
- температура продукту: на вході в сушильну камеру 15 °С на виході з сушильної камери 45 °С.

Необхідно забезпечити:

- створення умов по підвищенню енергоефективності роботи сушарки;
- встановлення в сушильну камеру утилізаційного обладнання;
- розрахувати теплові та ексергетичні баланси та визначити робочі параметри обладнання. Визначити ефективність додаткового обладнання та рентабельність модернізації. Зробити конструктивні та перевірні розрахунки. Розрахувати монтажну частину. Спланувати та створити вказівки щодо автоматизації.

6 Економічні показники

Розрахувати вартість модернізації, її рентабельність та термін окупності, враховуючи експлуатаційні витрати.

7 Заходи з енергозбереження

7.1 Автоматичне регулювання, контроль та контроль від відхилення за допустимі значення параметрів функціональної схеми..

7.2 Покращення роботи окремих елементів всього комплексу.

7.3 Встановлення додаткового теплотехнічного обладнання .

8 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Деталі сушарки повинні бути по можливості стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

9 Вимоги з надійності

На ефективність роботи обладнання сушарки впливають якість проекту і якість монтажу. Параметри показників надійності встановлюються у відповідних державних стандартах.

10 Стадії і етапи розробки

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Аналіз літературних джерел.	05.10.2025	
Розробка математичної моделі сушарки	15.10.2025	
Аналітичні і числові дослідження	25.10.2025	
Обробка отриманих результатів	05.11.2025	
Модернізація схеми автоматизації сушарки	15.11.2025	
Технологія монтажу обладнання для модернізації	25.11.2024	
Економічна частина	05.12.2024	
Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	08.12.2025	

11 Порядок контролю і прийняття розробки

Порядок контролю за виконанням розробки здійснює дипломний керівник відповідно встановленим термінам. Прийом розробки відбувається на попередньому і заключному етапах захисту за участю державної екзаменаційної комісії.

Додаток В

(довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Додаток Г
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ТЕПЛОМАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ В КОНВЕКТИВНИХ
СТРІЧКОВИХ СУШАРКАХ
(назва магістерської роботи)