

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

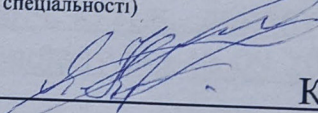
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри)

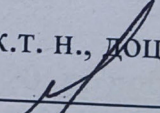
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

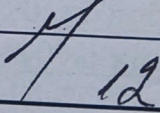
«Енергозбереження в камерних сушарках»

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-22М
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)

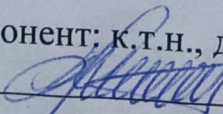

Кримняк Я.М.
(прізвище та ініціали)


Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ


Співак О.Ю.
(прізвище та ініціали)


« 11 »  12 2023 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. БМГА


Христич О.В.
(прізвище та ініціали)

« 11 »  12 2023 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри ТЕ


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

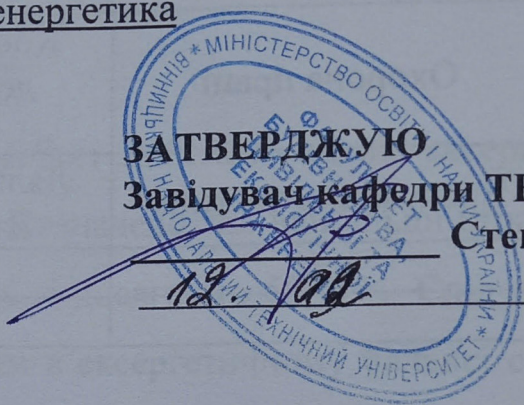
« 5 »  12 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ

Степанов Д. В.
2023 року

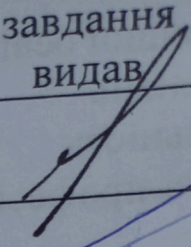
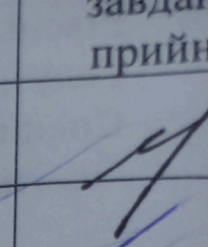
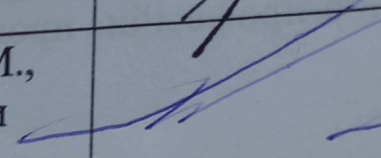
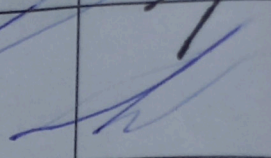
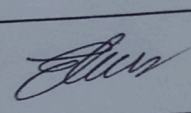
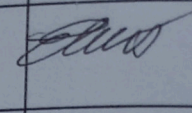


ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кримняку Ярославу Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Енергозбереження в камерних сушарках»
керівник роботи Співак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 р., № 247
- Строк подання студентом роботи 10.12.23 року.
- Вихідні дані до роботи: видатність $G = 20$ кг/добу; температура сушіння $t_{\text{вх}} = 65$ °С; початкова вологість матеріалу $\omega' = 90\%$; кінцева вологість матеріалу $\omega'' = 15\%$; температура свіжого повітря $t_0 = 10$ °С; вологість свіжого повітря $\varphi_0 = 65\%$.
- Зміст текстової частини: аналіз патентних та літературних джерел, ексергетичний баланс сушильної установки, математична модель ексергетичних втрат, числовий експеримент та обговорення результатів, технологічно-конструкторська частина, економічна привабливість інноваційного проекту, охорона праці, висновки, додатки.
- Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): сушарка КТУ-11, схема аксонометрична, план будівлі, календарний план монтажних робіт, схема автоматики функціональна, графічні залежності.

6. Консультанти розділів роботи

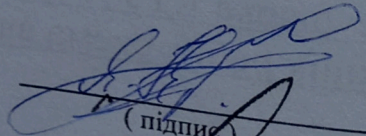
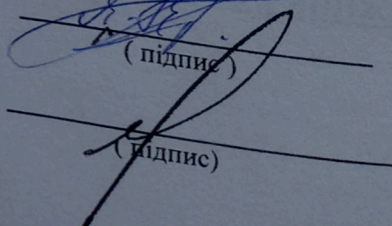
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Співак О. Ю., доцент кафедри ТЕ		
Охорона праці	Кобилянська І. М., доцент кафедри БЖДПБ		
Економічна частина	Лялюк О. Г., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 25.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
Науково-аналітичний огляд літературних та патентних джерел	05.10.2023	
Розробка математичної моделі сушарки	15.10.2023	
Аналітичні і числові дослідження	25.10.2023	
Обробка отриманих результатів	05.11.2023	
Модернізація схеми автоматизації сушарки	15.11.2023	
Технологія монтажу обладнання для модернізації	25.11.2023	
Охорона праці	03.12.2023	
Економічна оцінка інноваційного проекту	05.12.2023	
Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	09.12.2023	

Студент
Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Кримняк Я.

Співак О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33

Кримняк Я.М. Енергозбереження в камерних сушарках. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – «Теплоенергетика», освітня програма - теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2023. 102 с.

Бібліогр.: 57 назв; рис.: 21; табл. 12.

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено аналіз ексергетичного балансу камерної сушильної установки. Визначено, що найбільші втрати ексергії відбуваються в паровому калорифері і досягають 50,41%. Слід відмітити, що втрати з відпрацьованим теплоносієм в ексергетичному балансі складають приблизно 8%, а в тепловому – 33,2%.

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

Розроблено технологію монтажу теплообмінного апарата ОРГ-18-2.3 в сушильну камеру для підігріву теплоносія в камерній сушарці КТУ-11.

Виконано автоматизацію сушильної установки періодичної дії з різними типами теплогенератора, на базі традиційних засобів автоматики, розглянуто засоби контролю та автоматизації технологічних процесів, точки контролю рекомендовано вивести на пульт керування.

Забезпечено повну автоматизацію управління технологічним процесом.

Підготовлено схему контролю та регулювання температури теплоносія та його вологості. Діапазон регульованих температур від 40 до 150 °С.

Визначено економічну привабливість даного інноваційного проєкту.

Розроблено заходи з охорони праці.

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

Ключові слова: сушіння, камерна сушарка, ексергія, ексергетичний аналіз, енергія.

ABSTRACT

Krymnyak Y.M. Energy saving in chamber dryers. Master's qualification thesis on specialty 144 - "Heat power engineering", educational program - heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 102 p.

Bibliography: 57 titles; Fig.: 21; table 12.

An analysis of the exergy balance of a chamber drying unit was carried out in the master's qualification work. It was determined that the greatest exergy losses occur in the steam heater and reach 50.41%. It should be noted that losses with spent coolant in the exergy balance make up approximately 8%, and in the thermal balance - 33.2%.

As a result of conducting a numerical experiment on a mathematical model, it was concluded that increasing the efficiency of chamber convective drying units can be achieved by improving their heating devices and reducing their losses.

The technology for installing the ORG-18-2.3 heat exchange device in the drying chamber for heating the coolant in the KTU-11 chamber dryer has been developed.

The automation of the intermittent drying unit with different types of heat generators was performed, based on traditional automation tools, the means of control and automation of technological processes were considered, control points are recommended to be displayed on the control panel.

Full automation of technological process management is provided.

A scheme for controlling and regulating the temperature of the coolant and its humidity has been prepared. The range of adjustable temperatures is from 40 to 150 °C.

The economic attractiveness of this innovative project has been determined.

Labor protection measures have been developed.

The illustrative part consists of 10 drawings and posters with the results of modeling and experimental studies.

Key words: drying, chamber dryer, exergy, exergy analysis, energy.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ПАТЕНТНИХ ТА ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	6
1.1 Ексергетичний ККД та ексергія палива.....	6
1.2 Ексергія матеріальних потоків	9
1.3 Ексергія різних видів палива	11
1.4 Ексергія сушильного агента.....	12
2 ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.	
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ	15
2.1 Ексергетичний баланс сушарки і його складові	15
2.2 Математична модель сушарки для ексергетичного аналізу	16
3 ЧИСЛОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ....	
22	
4 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
28	
4.1 Технологія монтажу ТА в теплову схему камерної сушарки.....	28
4.2 Автоматизація модернізованої системи	42
4.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	57
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	
70	
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	86
ДОДАТКИ.....	93
Додаток А_(обов’язковий)_Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	94
Додаток Б_(обов’язковий)_ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	95
Додаток В_(обов’язковий)_ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	99
Додаток Г_(довідниковий)_ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ.....	108

ВСТУП

Актуальність роботи.

Процес сушіння є нестационарним незворотнім процесом, який прямує до рівноваги. Реально сушильний цикл складається з ряду незворотних процесів, в яких ентропія системи зростає ($\Delta S > 0$). Для прикладу, цикл конвективної сушарки складається з таких основних процесів: підготовки сушильного агента, що полягає в підвищенні його внутрішньої енергії за рахунок теплопередачі (спалювання палива, передачі теплоти від електронагрівачів в калорифері, від пари або води); самого процесу сушіння – випаровування вологи і поглинання її гарячим теплоносієм; змішування відпрацьованого теплоносія на виході з камери з навколишнім середовищем. У цих процесах змінюється якість, а не тільки кількість переданої теплової енергії. До знецінення енергії і зниження її робото-спроможності призводить збільшення ентропії системи.

Протягом тривалого часу промислового теплоенергетика в сфері переробки сільськогосподарської продукції розвивалася екстенсивним шляхом. Завдання з нарощування виробничих потужностей, як правило, зв'язувалися з еквівалентним нарощуванням енергетичних потужностей. Установкою нових промислових сушарок кардинально не вирішувалося завдання раціонального енергозбереження.

Тим часом у науково обґрунтованій тепловій схемі технологічного процесу при істотно менших капітальних витратах часто вдається підвищити термодинамічний ККД технологічного процесу на десятки відсотків. Практичне досягнення цієї мети можливе під час розробки наукових засад енергозбереження. Такий підхід до енергозбереження включає, перш за все, термодинамічний аналіз існуючих або проєктованих систем, розроблення теплових схем на його основі, оптимізацію параметрів, інтенсифікацію процесів теплопередачі та освоєння чи розробку нових типів теплообмінної апаратури.

У сушильних процесах споживання палива, водяної пари та

електроенергії становить до 80 % або й більше у собівартості переробки сировини на кінцеві продукти. Разом з тим, ступінь використання споживаної енергії незначна. Високу енергоємність цих процесів визначає низький рівень їх термодинамічної досконалості. Тому основне завдання ексергетичного або термодинамічного аналізу полягає у констатації впливу необоротних явищ, які знижують термодинамічну досконалість процесів і ефективність роботи установок. З вищевикладеного випливає, що ексергетичний аналіз теплоенергетичних установок, зокрема сушильних, є **актуальним** питанням

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є ексергетичний аналіз камерної сушарки, складання математичної моделі, числові дослідження змін окремих складових ексергетичного балансу від основних параметрів, що впливають на сушильний процес, розроблення технології монтажу обладнання для модернізації сушарки і автоматизації модернізованого пристрою

Щоб досягнути поставленої мети потрібно вирішити такі **завдання**:

- здійснити аналіз літературних джерел для визначення придатності ексергетичного аналізу для розрахунку сушарок;
- розробити математичну модель ексергетичних втрат;
- числовими методами дослідити ефективність роботи камерної сушарки з використанням ексергетичного балансу;
- розробити технологію монтажу при модернізації сушарки;
- забезпечити автоматичне управління модернізованою сушаркою;
- розробити заходи з охорони праці.
- оцінити економічну привабливість інноваційного проекту;

Об'єктом дослідження є необоротні тепломасообмінні процеси в камерних конвективних сушарках.

Предметом дослідження є особливості необоротних тепломасообмінних процесів в інтерпретації ексергетичної теорії.

Методи дослідження. В роботі виконані теоретичні та прикладні

дослідження сушильних процесів з використанням числових методів.

Наукова новизна результатів дослідження.

Вперше запропоновано застосування ексергетичного аналізу для числового дослідження камерних сушарок, до якого залучено елементи експериментально-розрахункового методу визначення параметрів об'єкта.

Особистий внесок здобувача полягає в аналітичних дослідженнях літературних та патентних джерел, зокрема в класифікації і виборі термодинамічних потенціалів які б найбільш коректно описували працездатність потоків речовини та енергії у будь-якій точці аналізованої системи, складанні математичної моделі.

Публікації: Співак О. Ю., Резидент Н. В., Кримняк Я. М. Аналіз складових ексергетичного ККД камерної конвективної сушарки / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, №1, 2023. С. 101-106.

1 АНАЛІЗ ПАТЕНТНИХ ТА ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Ексергетичний ККД та ексергія палива

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 [1].

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 перетворюваної енергії, яка може бути отримана від системи внаслідок її оборотного переходу з даного стану в стан рівноваги із навколишнім середовищем. Та частина енергії системи, яка не може бути перетворена на організовану енергію, дістала назву анергії [2].

Таким чином, при визначенні ексергії об'єктом розгляду є, перш за все, сама система, потім довкілля і, нарешті, зовнішні об'єкти у навколишньому середовищі, які можуть бути джерелами чи приймачами енергії. Ексергія, як і енергія системи, у кожному даному стані має фіксоване значення.

Взаємодія системи з довкіллям може проходити як оборотний (ідеальний процес), так і незворотний (реальний процес). У ідеальному оборотному процесі буде отримана робота, що дорівнює спаду ексергії. У реальному процесі робота буде меншою, ніж спад ексергії, оскільки частина ексергії зникне її буде втрачено.

Таким чином, якщо взаємодія системи та навколишнього середовища протікає незворотно зі зростанням ентропії, то ексергія системи зменшується. Зіставлення властивостей енергії та ексергії представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості енергії і ексергії

№	Енергія	Ексергія
1	Залежить лише від параметрів системи і не залежить від параметрів оточуючого середовища	Залежить як від параметрів системи, і від параметрів оточуючого середовища
2	Завжди має величину, відмінну від нуля	Може мати величину, рівну нулю (при повній рівновазі параметрів системи та довкілля)
3	Підпорядковується закону збереження енергії в будь-яких процесах та знищуватися не може	Підкоряється закону збереження тільки при оборотних процесах; у реальних незворотних процесах знищується частково або повністю
4	Перетворення одних форм на інші обмежено за умовами другого закону термодинаміки для всіх процесів, у тому числі і оборотних	Перетворення одних форм на інші не обмежено за умовами другого закону термодинаміки для оборотних процесів

Розглянемо якусь технічну систему (Рис.1.1)

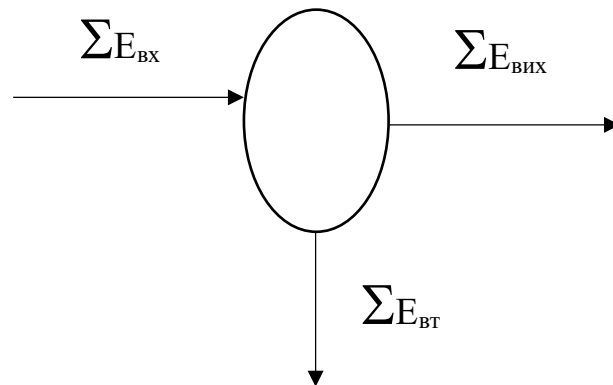


Рисунок 1.1 – Ексергетичний баланс системи

Різниця значень загальної величини ексергії $\Sigma E_{вх}$, що вводиться в систему (наприклад, сушарку) і величини ексергії, яка виводиться з неї $\Sigma E_{вих}$ визначають сумарну величину $\Sigma E_{вт}$ 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 відсутня дисипація енергії.

У цьому ексергія аналогічна ентропії, зростання якої в замкнутій системі також відображає втрати від незворотності. Однак практична перевага ексергії полягає в тому, що її зменшення дає одночасно значення втрат перетворюваної енергії – як абсолютне, так і відносне.

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

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

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 [3].

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

енергетичну характеристику потоку речовини.

Зміна dh ентальпії при $P = \text{const}$ дає кількість теплоти $\delta q = TdS$, котра проходить через контрольну поверхню системи. Зміна ексергії de в аналогічних умовах також характеризує теплоту, але тільки рівну такій роботі, яка в ідеальному випадку може бути отримана під час використання цієї теплоти: $\delta \ell = \delta q - T_{oc} \cdot dS$. Зміна як ентальпії h , так і ексергії e за $S = \text{const}$ дає в обох випадках одну й ту ж величину VdP , яка рівна роботі зміни тиску робочого тіла в потоці [3].

Повний диференціал ентальпії dh дає зміну енергії потоку в результаті як термічних, так і механічних впливів через межі системи. Повний диференціал ексергії de також пов'язаний з цими видами впливу, але дає величину корисної енергії, яка може бути перетворена на роботу.

Таким чином, зміна ентальпії h відображає енергетичні перетворення в потоці речовини без врахування обмежень, які накладаються другим законом термодинаміки в умовах взаємодії 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 елементів, і у цілому системи.

1.3 Ексергія різних видів палива

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

– 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 вологи

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

– 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 [1].

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 [6]

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

де $e_{\text{п}}$, $e_{\text{с.п}}$ і $e_{\text{вл.п}}$ – ексергія водяної пари відповідно, сухого і вологого повітря,

$$\left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right);$$

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

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

$$e_{\text{вл.п}} = c_{\text{вл.п}} \cdot (t - t_0) - \left[c_{\text{вл.п}} \cdot \ln \frac{T}{T_0} - \frac{\chi \cdot R_{\text{п}}}{1 + \chi} \cdot \ln \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{п}0}} - \frac{R_{\text{с.п}}}{1 + \chi} \cdot \ln \frac{p_{\text{с.п}}}{p_{\text{с.п}0}} \right] \cdot T_0, \quad (1.11)$$

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);

$p_{\text{с.п}0}$, $p_{\text{п}0}$ – 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

$$e_{\text{п.с}} = e_{\text{т}} + e_{\text{р}} + e_0, \quad (1.13)$$

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

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

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

$e_{\text{р}}$ – ексергія, що виникає через різницю тисків продуктів згоряння і тиску

навколишнього середовища;

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

$R_{п.с}$ – 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

$$t_r^{теор} = \frac{Q_H^p}{\sum_i m_i^0 \cdot c_{pi}} = \frac{Q_H^p}{m_{п.с}^0 \cdot c_{рп.с}}, \quad (1.14)$$

де $m_{п.с}^0$ – 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_r [7].

Висновки до 1 Розділу.

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 сушильної установки записують так

$$E_B + E_{T,П} + E_{ВЕН} + E_{ДОП} = E''_{с.а} + \Delta E_{Г} + \Delta E_{см.пр} + \Delta E_{к} + \Delta E_{теп} + \Delta E_{исп} + \Delta E_{м} + \Delta E_{вл} + \Delta E_{см.вл} + \Delta E_{внеш} + \Delta E_{вн} + \Delta E_{гидр} + \Delta E_{под} + \Delta E_{о.с} + \Delta E_{п.н}, \quad (2.1)$$

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

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

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

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

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

$\Delta E_{Г}$ – ексергетичні втрати внаслідок незворотності реакцій горіння;

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

$\Delta E_{к}$ – ексергія конденсату на виході з парового калорифера (за його наявності);

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

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

$\Delta E_{м}$ – зміна ексергії сирого матеріалу в процесі сушіння;

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

перегріванням пари до температури теплоносія на виході з робочої камери;

$\Delta E_{\text{см.вл}}$ – ексергетичні втрати внаслідок незворотності процесу змішування випарованої 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

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

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]

$$E''_{с.а} = L'_{с.а} \cdot e''_{с.а} \cdot (1 + k), \quad (2.5)$$

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

$$\Delta E_{\text{см.пр}} = E_{\text{п.с}} - E'_{\text{с.а}}, \quad (2.6)$$

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

Питомі ексергетичні втрати (кДж/кг) від змішування газів

$$\Delta e_{\text{см.пр}} = T_0 \cdot R \cdot \sum_i \frac{m_i}{M_i} \cdot \ln \frac{M_i}{m_i \cdot M_{\text{см}}}, \quad (2.7)$$

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

$$E_{\text{вен}} = N \cdot \eta, \quad (2.8)$$

де η – ККД вентилятора;

N – потужність яку споживає вентилятор, кВт.

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

$$E_{\text{вен}} = L \cdot T_0 \cdot R_{\text{в}} \cdot \ln \frac{p}{p_0}, \quad (2.9)$$

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 вологи

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 адиабатного 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

$$\Delta e_{\text{вл.пер}} = c_{\text{п}} \cdot (T'' - T_{\text{н}}) - T_0 \cdot c_{\text{п}} \cdot \ln \frac{T''}{T_{\text{н}}}, \quad (2.14)$$

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

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

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

$$\Delta E_{\text{м}} = G'' \left[c_{\text{м}} \cdot (\theta'' - \theta') - T_0 \cdot c_{\text{м}} \cdot \ln \frac{\theta''}{\theta'} \right], \quad (2.18)$$

де G'' – видатність установки за висушенням 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.

Ексергетичні втрати зумовлені гідравлічним опором

$$\Delta E_{\text{гидр}} = R_{\text{с.а}} \cdot T_0 \cdot \ln \left(1 + \frac{\Delta p}{p} \right) \cdot L_{\text{с.а}}, \quad (2.19)$$

де p – тиск на виході з апарату, Па.

Δp – гідравлічний опір апарату, Па;

Втрати ексергії в навколишнє середовище

$$\Delta E_{\text{о.с}} = Q_{\text{о.с}} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T} \right), \quad (2.20)$$

де $Q_{\text{о.с}}$ – теплота, втрачена в навколишнє середовище через теплову ізоляцію, кВт.

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

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

В розрахунку застосуємо наближену формулу

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

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 представлено в Додатку Г. 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 ексергетичного ККД сушарки від зміни температури навколишнього середовища для реальних погодних умов. З ростом температури навколишнього середовища, ексергетичний ККД зменшується, оскільки зменшується різниця температур.

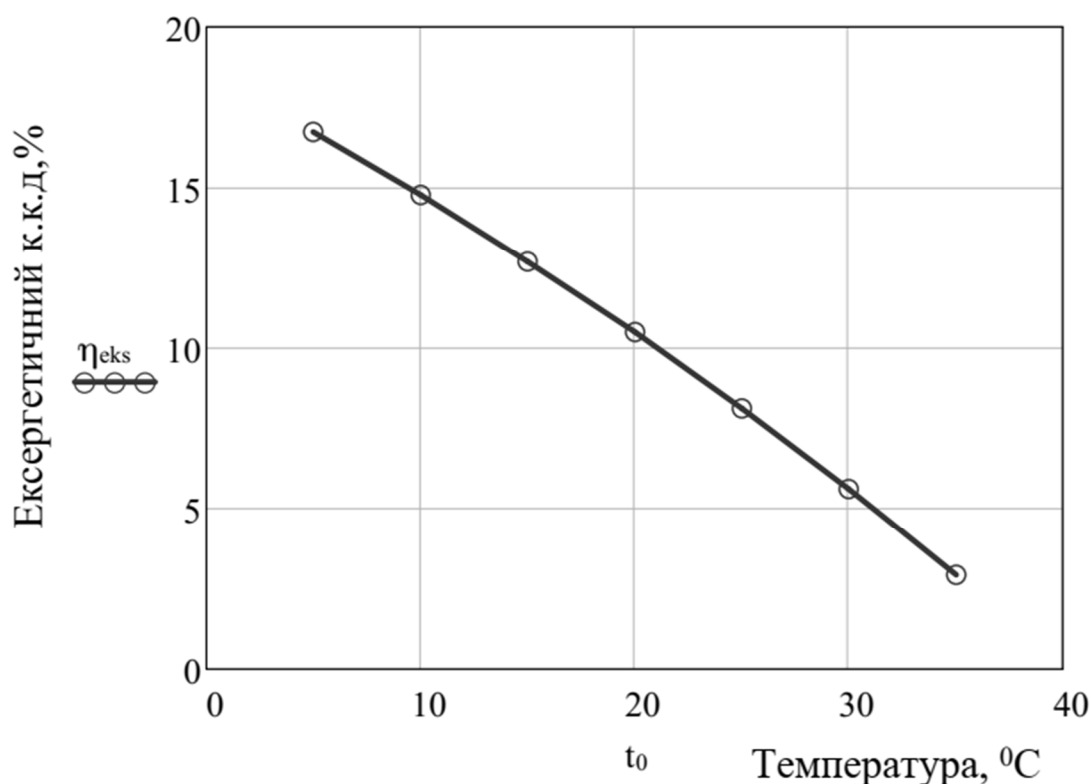


Рисунок 3.1 – Зміна ексергетичного ККД від температури навколишнього середовища

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.

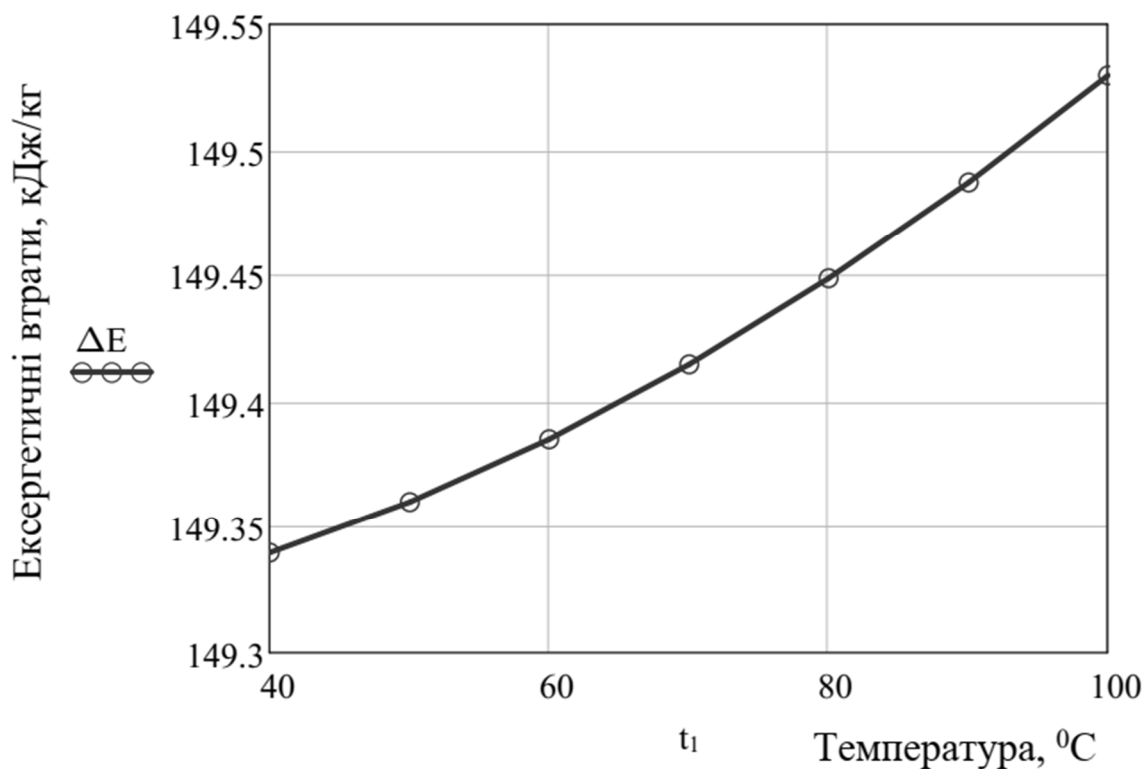


Рисунок 3.2 – Зміна втрат ексергії зі зростанням температури теплоносія

На рисунку 3.3 представлено зміну втрат ексергії із зростанням температури відпрацьованого теплоносія. Залежність є обернено пропорційною до залежності зображених 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.

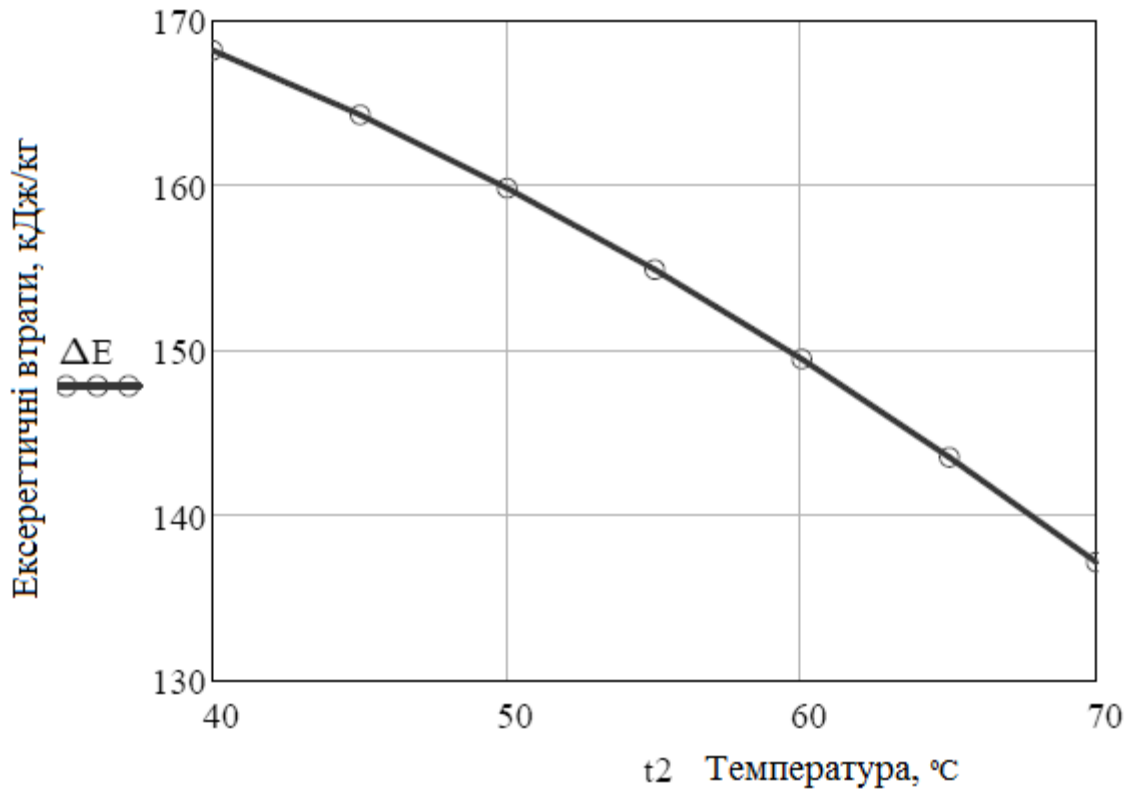


Рисунок 3.3 – Зміна ексергетичних втрат із зростанням температури відпрацьованого теплоносія

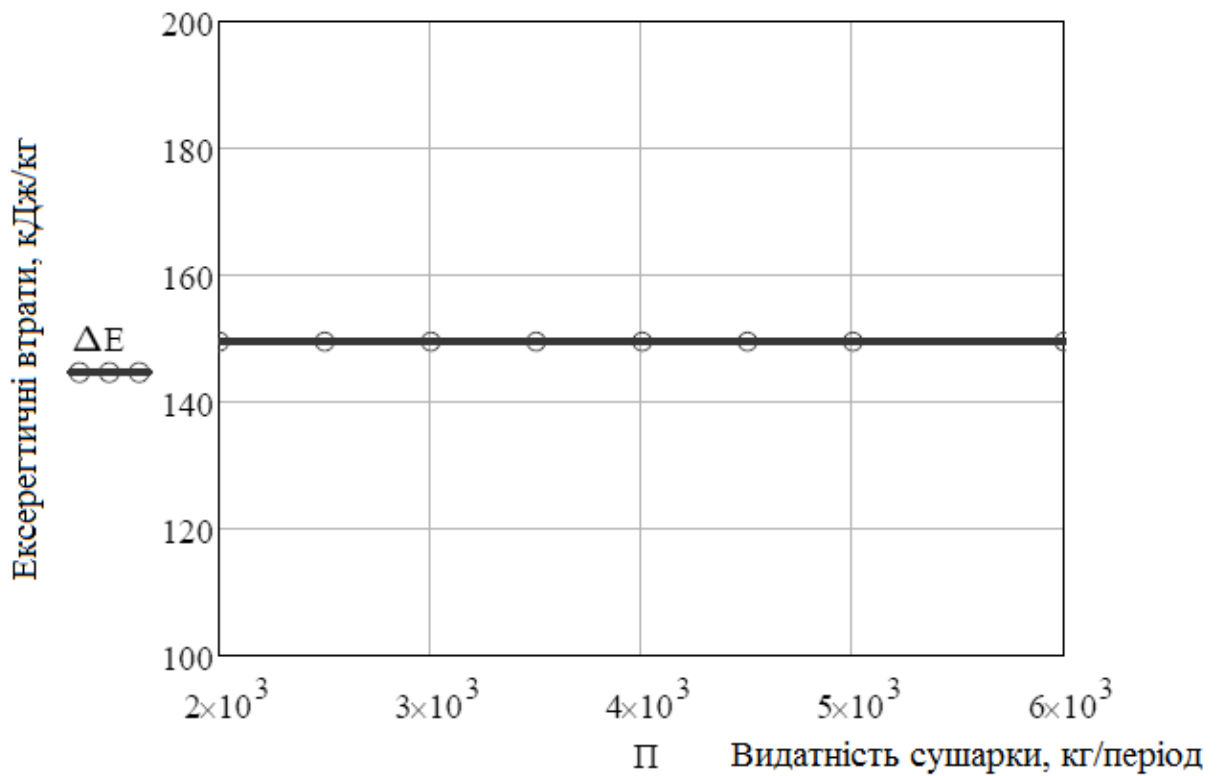


Рисунок 3.4 – Вплив видатності сушарки на загальні втрати ексергії

На Рис. 3.5 представлена залежність ексергетичного ККД камерної 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%.

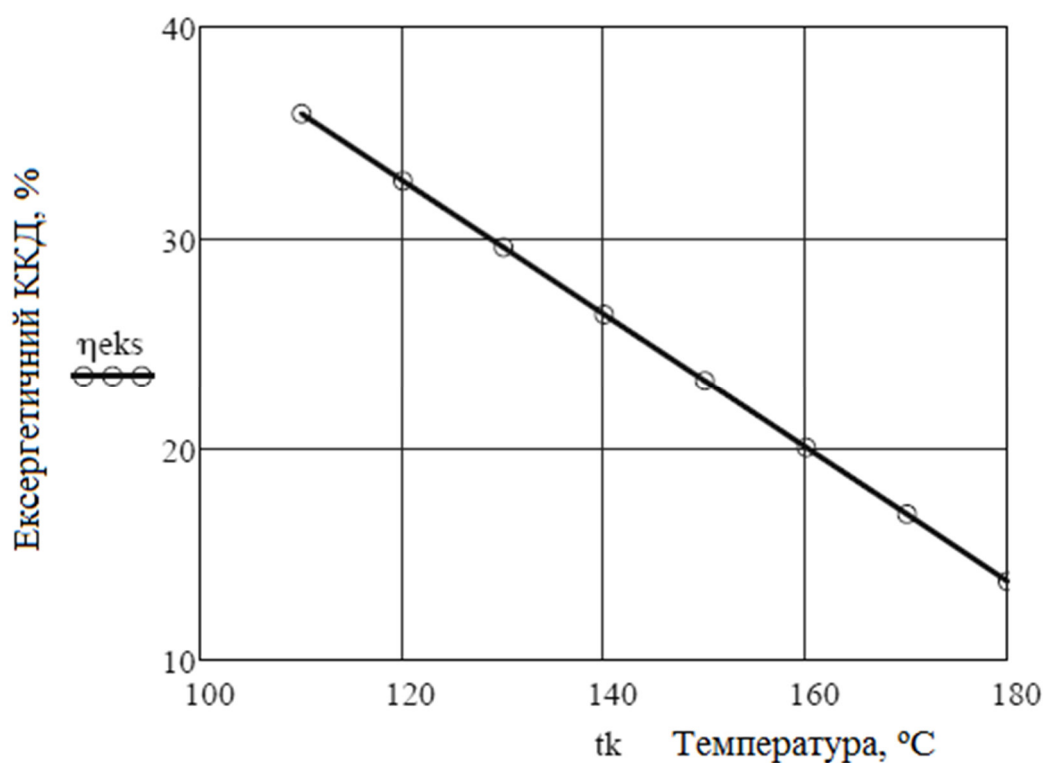


Рисунок 3.5 – Вплив температури конденсату пари на ексергетичний ККД

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.

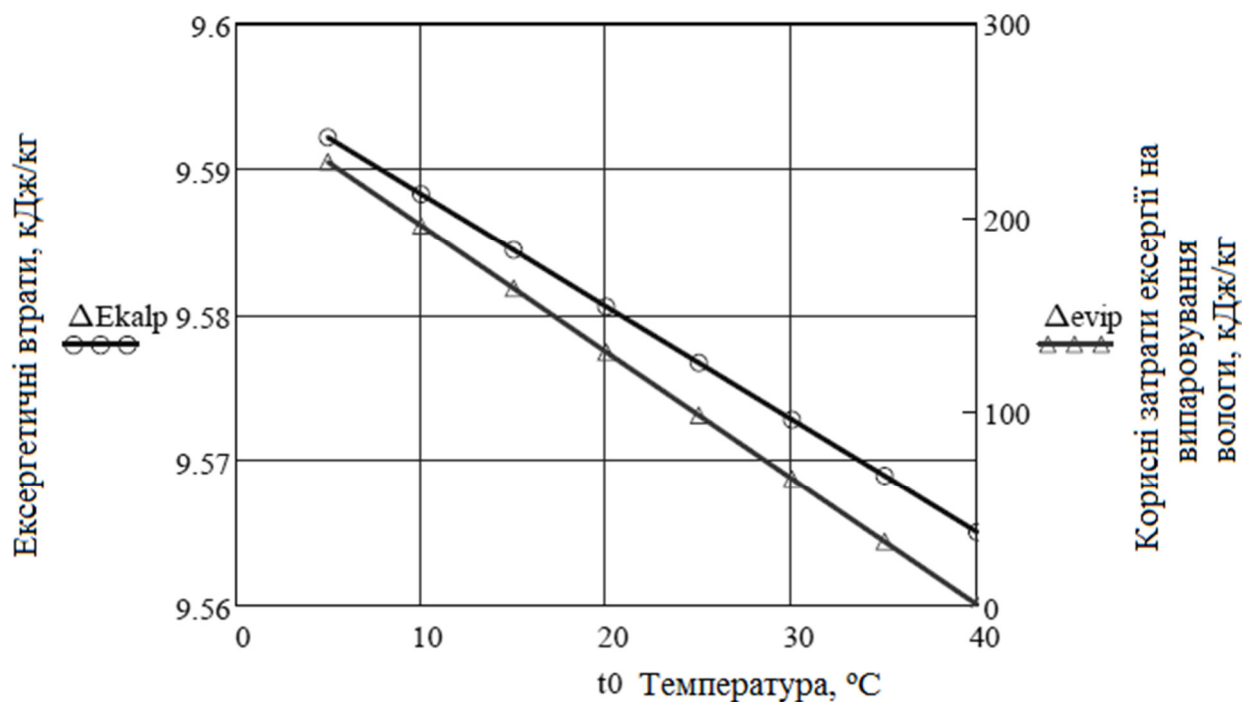


Рисунок 3.6 – Вплив початкової температури повітря на ексергетичні втрати в калорифері та на корисні затрати ексергії

Висновки до розділу 3.

Аналіз ексергетичного балансу камерної 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 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Технологія монтажу ТА в теплову схему камерної сушарки

4.1.1 Аналіз об'єкта монтажу

В роботі розробляється технологія монтажу теплообмінника ОРГ-18-2.3 та нагнітального вентилятора для підігріву теплоносія в камерній сушарці.

Камерна сушарка КТУ-11 призначена для висушування в промислових масштабах різноманітних харчових продуктів: фрукти і ягоди (слива, диня, гарбуз, малина, шипшина, вишня, яблука, груші та ін.), трави, овочі (капуста, часник, буряк, томати тощо), риба та м'ясо. Дана сушарка успішно застосовується для сушіння нехарчових продуктів (добрива, будівельні суміші тощо). Використовує конвективний тип перенесення теплоти [11,12].

До монтажних робіт при модернізації камерної конвективної сушарки входить монтаж теплообмінника ОРГ-18-2.3 з додатковою відповідною арматурою для його підключення [13] і нагнітального вентилятора ВЦУН 280×127-5,5-2.

Встановлюваний теплообмінник марки ОРГ-18-2.3 має масу 280 кг, а вентилятор нагнітальний в комплекті з двигуном – масу 50 кг.

При монтажі теплообмінника необхідно повітропроводами зв'язати його з виходом відпрацьованого теплоносія від сушарки, а підігріте повітря направити на вхід калорифера для подальшого нагрівання до робочої температури.

При установці нагнітального вентилятора необхідно передбачити віброопори і вібродемпфер між самим вентилятором і повітропроводами.

Монтаж ТА ОРГ-18-2.3 починають з установки опорних металоконструкцій біля сушильної камери, які складаються з вертикальних стоек з поперечними опорами, з'єднаних між собою зв'язками з кутників і швелерів. Перед монтажем теплообмінника його перевіряють на герметичність, якість зварних швів тощо, для чого спочатку проводять візуальний огляд пристрою, зі знятою транспортною обрешіткою. Нагнітальні вентилятори ВЦУН поставляються в зборі з двигуном.

4.1.2 Документація необхідна для монтажу системи

Монтаж внутрішніх систем вентиляції потрібно проводити відповідно до вимог таких нормативних документів: ВБН В.2.3-00013741-05:2006, ДБН В.2.5-67:2013, СНиП 12-04-2002, СНиП 12-03-2001, керівництв з експлуатації та інструкцій заводів-виготовлювачів обладнання і відповідно до протипожежних вимог ДБН В.1.1.7-2016.

Проектно-технічну документацію при монтажі ділять на дві групи:

- проектно-технологічна документація;
- проектно-кошторисна документація на монтаж обладнання.

Проектно-кошторисна документація (ПКД) складається із робочих креслень і кошторисів. До складу основного комплексу робочих креслень включають:

- загальні дані по робочих кресленнях;
- креслення (плани, розрізи та схеми) тепломеханічних установок;
- креслення (плани та розрізи) розташування обладнання;
- креслення (плани та розрізи);
- схему трубопроводів;
- розташування трубопроводів.

Проектно-технологічна документація (ПТД) передбачає запобіжні заходи із забезпечення комплексної безпеки будівництва у відповідності до ДБН А.3.1-5:2016.

ПТД об'єкта містить проект організації будівництва (ПОБ), що має рішення з організації будівництва об'єкта в цілому, та його окремих черг, пускових комплексів та документації проекту виконання робіт (ПВР), котрі деталізують способи виконання робіт і організаційно-технологічні заходи.

4.1.3 Опис необхідних видів робіт

Для встановлення ТА потрібні матеріали, які вказані в таблиці 4.1 [13].

Таблиця 4.1 – Матеріали для встановлення та обв'язки теплообмінника

№ п. п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
Основні матеріали					
1	Сталеві зварні повітропроводи на умовний тиск не більше 2,5 МПа, котрі монтуються з готових вузлів, діаметром 200×2 мм.	м пог.	18	10	180
2	Опора за ОСТ 26-655–79	шт	4	21	84
3	Теплообмінник в зборі ОРГ-18-2.3	шт	1	280	280
4	Шибери Ду 200 РУ10	шт	2	63	126
5	Вентиляційний відвід 90° 200×1 ДСТУ EN 12599:2006	шт	8	4,1	32,8
6	Приварний фланець, діаметр 200 мм	м	4	2,3	9,2
Допоміжні матеріали					
7	Виріб технічний гумовий	кг	0,39		0,39
8	Каболка смоляна	кг	0,03		0,03
9	Комбінована оліфа марки К-3	т	0,00004		0,04
10	Болти будівельні з шайбами і гайками	т	0,012		12
11	Електроди зварювальні 2мм, марка Э42 (АНО – 6)	т	0,005		5
12	Сталевий сурик марки МА-15	т	0,00006		0,06

Загальна маса матеріалів 718,4 кг.

Для встановлення нагнітальної машини підбираємо матеріали, які представлені в таблиці 4.2 [14].

Таблиця 4.2 – Матеріали для встановлення нагнітальної машини

№ п. п.	Найменування матеріалу	Одиниці	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
---------	------------------------	---------	-----------	------------------	----------

		вимі- рю- вання			
Основні матеріали					
1	Вентилятор відцентровий марки ВЦУН 280x127-5,5-2, 5,5 кВт.	шт	1	50	50
2	Віброопори марки Vibrofix 220	шт	4	0,8	3,2
3	Вставка гнучка гумова Ø200×200мм	шт	1	3,3	3,3
4	Перехід коло-квадрат Ø200×200-200мм	шт	1	2,4	2,4
5	Приварний фланець круглий Ø200×200мм	шт	1	2,3	2,3
Допоміжні матеріали					
2	Анкерні болти	т	0,0064		6,4

Загальна маса матеріалів для встановлення 1 нагнітальної машини – 67,4 кг.

Загальна маса усіх матеріалів, які необхідні на встановлення системи, рівна 785,76 ≈ 786 кг.

Обладнання, апарати, деталі та матеріали для встановлення теплообмінника централізовано завозяться автомашиною "Mercedes-Benz Sprinter 313". Автотранспортна машина має технічні характеристики які наведені в таблиці 4.3 [15].

Щоб змонтувати теплообмінника потрібно використати автокран JCB- 540-140 на колісній базі, параметри якого наведено в таблиці 4.4 [16].

Для зварних робіт використовується апарат зварювальний інверторного типу Tesla Weld MMA 302. Характеристики апарата вказані в таблиці 4.5 [17].

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики "Mercedes-Benz Sprinter 313"

Найменування	Одиниця виміру	Значення
--------------	----------------	----------

Максимальна швидкість	км/год	до 120
Максимальна маса вантажу	кг	до 1590
Площа завантаження	м ²	5,8
Максимальна довжина завантаження	мм	4300
Вантажна висота	мм	1365
Діаметр розвороту	м	12,3
Маса	кг	3250
Витрата палива	л/100 км	16,2

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики автокрана JCB 540–140

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Максимальна маса вантажу	т	4
Висота підйому вантажної стріли	м	12
Розміри в транспортному положенні		
висота	м	2,5
довжина		6,3
ширина		2,2
Маса без вантажу	т	5,4

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики зварювального апарата Tesla Weld MMA 302

Характеристика	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Номінальна напруга мережі	В	190-230
Номінальний зварювальний струм	А	302
Продовження таблиці 4.5		
1	2	3
Діаметр зварювальних електродів	мм	до 3
Середня споживана потужність	кВт	7

Розміри	мм	250×350×430
Маса	кг	4,8

Для випробування повітропроводів на герметичність та міцність зварних швів використано вентилятор відцентровий марки ВВД №5, його параметри в таблиці 4.6 [18].

Таблиця 4.6 – Характеристики вентилятора відцентрового марки ВВД №5

Характеристика	Одиниця виміру	Значення
Максимальна подача	м ³ /год	920
Тиск статичний	Па	1450
Швидкість обертання колеса	об/хв	1500
Споживана потужність	кВт	1,5
Маса ваги	кг	32

Для монтажу використовують інструменти, за списком таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників [9]

Назва		К-ть, шт.	Загальна маса, кг
1	2	3	4
Ключ двосторонній гайковий М19х22 мм за ДСТУ ГОСТ 2839-80		6	1,21
Плоскогубці комбіновані за ДСТУ ГОСТ 5547-75		6	1,6
Викрутки за ДСТУ ГОСТ 5423-79		6	0,3
Молоток слюсарний за ДСТУ ГОСТ 2310-77		6	1,8
Зубило слюсарне 200 мм за ДСТУ ГОСТ 7211-72		6	2,2
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м, за ДСТУ ГОСТ 7502-61		6	0,11
Рівень металевий за ДСТУ ГОСТ 7948-80		2	0,22
Висок за ДСТУ ГОСТ 7948-80		2	0,22
Ящик переносний для інструменту		12	3,0
Всього:			38,65

Загальна маса всіх деталей та обладнання, що підлягають транспортуванню на монтажний майданчик

$$M_{\Sigma} = 718,36 + 67,4 + 4,8 + 32 + 38,65 = 861, 21 \text{ кг.}$$

Маса обладнання для повернення на склад (зварювальний апарат, вентилятор випробувальний, набір інструментів)

$$M_{\Pi} = 4,8 + 32 + 38,65 = 75,45 \text{ кг.}$$

4.1.4 Особливості монтажу

Будь-який монтаж, чи це теплообмінник чи будь-яке інше обладнання, починається з підготовки місця.

Встановлюється теплообмінник опорами на підлогу, тому необхідно переко-нати в її міцності. Для агрегату зовсім не обов'язково укласти спеціальний фун-дамент, але перевірити чи витримає підлогу вага заповненого теплообмінника пот-рібно обов'язково. Завдяки цьому можна уникнути провалів.

У радіусі 5 метрів не можна щоб розташовувалась якась електротехніка (еле-ктромотори, трансформатори тощо).

Монтаж розбірного теплообмінника ОРГ-18-2.3 та нагнітальної машини для подачі відхідних газів в нього виконується в такій послідовності:

- розмітка місць установки обладнання і кріплень;
- встановлення опори ГСТУ 3-17-192-2000;
- встановлення ТА ;
- прикріплення газопроводів до теплообмінника;
- монтаж нагнітальної машини на віброопори;
- під'єднання нагнітальної машини до повітропроводів.

Повітропроводи, через які нагнітаються відхідні гази, прокладаються на ви-соті 0,5 метрів від підлоги. Повітропровід, за допомогою якого відпрацьовані від-хідні гази витягуються у димову трубу, прокладається на висоті 1 метра від перек-риття.

Для того щоб конденсат з теплообмінника не лився на підлогу і не утворював калюжу, на місці під теплообмінником потрібно обладнати стік під рідину.

Площа для встановлення апарату повинна відповідати його габаритним роз-мірам, плюс з боків має залишитися місце (1-2 метри) для того, щоб у разі аварійної

поломки або сервісного обслуговування, можна було безперешкодно отримати доступ до агрегату. Монтаж теплообмінника починають з установки на підлогу опорних металоконструкцій, які складаються з двох вертикальних стійок з опорами, що з'єднані між собою зв'язками з швелерів і кутників.

Пластинчастий розбірний теплообмінник підключається до діючих труб за допомогою спеціальних патрубків, через які входить і виходить теплоносій. Патрубки, які не використовуватимуться в роботі апарата, необхідно правильно заглушити. На труби через які підходить і відходить теплоносій, повинна діяти мінімальна сила, якщо потрібно, то можна зробити підпірки спеціальним пристроєм.

Використання знімних патрубків, забезпечить у подальшому легке розбирання та пересування ТА.

Для мінімізації теплових втрат, вхідний та вихідний патрубки необхідно утеплити ізолюючим матеріалом.

Перед монтажем теплообмінника окремі його секції перевіряють на щільність вальцювання стиків, для чого кожен секцію по черзі укладають на шпальну викладку з невеликим ухилом у бік штуцера, розташованого внизу корпусу секції, і знімають обидва днища для огляду місць вальцювання стиків при випробуванні.

Для полегшення технічне обслуговування апарату, рекомендується поряд розташувати запірні механізми (вентилі) та зливну арматуру.

Щоб робочий персонал не мав небажаного контакту з обладнанням, навкруг ТА можна встановити захисні кожухи або огороження.

4.1.5 Склад і об'єм необхідних робіт

Склад робіт:

- 1) доставлення необхідних деталей та матеріалів до місця монтажу;
- 2) розмічання місць прокладання повітропроводів;
- 3) монтаж теплообмінника;
- 4) прокладання повітропроводів діаметром 200 мм;
- 5) встановлення запірної арматури з Ду 200;
- 6) монтаж вентилятора;

- 7) перше робоче випробування системи подачі відхідних газів;
- 8) остаточна перевіряння системи і здача в експлуатацію;
- 9) повернення монтажного обладнання на склад.

Об'єми робіт

- 1) транспортування деталей до місця монтажу вивантаження та складування. Одиниці вимірювання в тоннах. Повна маса усіх деталей 861 кг (див. табл 4.1 – 4.7). Приймаємо об'єм робіт $V = 0,861$.
- 2) монтаж основної несучої конструкції. Одиниці вимірювання в тоннах. Монтується 4 опори масою 84 кг. Беремо об'єм робіт $V = 0,084$.
- 3) встановлення теплообмінника ОРГ-18-2.3 на опори. Одиниці вимірювання в штуках. Встановлюється один теплообмінник масою 280 кг. Беремо $V = 1$.
- 4) монтаж повітропроводів діаметром $D_u = 200$ мм. Одиниці вимірювання 100 метрів. Довжина таких труб з діаметром 200 мм складає 17 м. Беремо об'єм робіт $V = 0,17$.
- 5) монтаж арматури запірної для повітропроводів діаметром $D_u = 200$ мм. Одиниці вимірювання 100 штук. Монтується 2 шибера загальною масою 63 кг. Беремо об'єм робіт $V = 0,02$.
- 6) встановлення нагнітальної машини для подачі відхідних газів в ТА. Одиниці вимірювання 1 штука. Монтується 1 машина масою 50 кг. Беремо об'єм робіт $V = 1$.
- 7) перше робоче випробування зібраної системи циркуляції сушильного агента. Одиниці вимірювання - метри. Загальна довжина труб $D_u = 200$ мм становить 17 м. Беремо $V = 17$.
- 8) остаточна перевірка системи в цілому. Одиниці вимірювання в штуках. Беремо $V = 1$.
- 9) повернення монтажного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тоннах. Загальна маса залишкового монтажного обладнання 75,45 кг (див. табл 4.1 – 4.7). Беремо об'єм робіт $V = 0,075$.

Доставлені на будівельний майданчик матеріали групуємо згідно заявочних

специфікацій.

4.1.6 Витрати на паливо та інші енергетичні ресурси

Витрати електроенергії, затраченої для роботи електрообладнання

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

де P – потужність окремого обладнання, кВт;

k – коефіцієнт, враховуючий періодичність роботи електрообладнання;

τ – термін роботи даного обладнання, год.

Витрати електроенергії на роботу напівавтомату-інвертора зварювального, Tesla Weld TIG 302.

$$\tau = 35,5 \text{ (год)}; k = 0,1; P = 7 \text{ (кВт)};$$

$$E_{\text{за}} = 7 \cdot 35,5 \cdot 0,1 = 28,85 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу нагнітальної машини ВВД №5:

$$\tau = 12 \times 2 \text{ (год)}; k = 0,1; P = 1,5 \text{ (кВт)};$$

$$E_{\text{ВВ}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 0,1 = 6,6 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Витрата дизпалива для доставки монтажного обладнання:

- відстань $\ell = 80$ км;
- кількість ходок $n = 2$;
- витрата пального $Q = 16,2$ л/100 км.

Потрібна кількість пального для доставлення монтажного обладнання

$$Q_{\text{п}} = 2 \cdot Q \cdot n \cdot \ell, \quad (4.2)$$

$$Q_{\text{п}} = 2 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 16,2 / 100 = 51,8 \text{ (л)}.$$

4.1.7 Трудомісткість виконання монтажних робіт

Склад бригад та середній розряд робітників.

Склад бригад, середній розряд робітників для виконання монтажних робіт та трудомісткість робіт визначається згідно нормативних документів [14, 20-24]:

- 1) транспортування деталей до місця монтажу вивантаження та складування. Водій, робітник;
- 2) монтаж основної несучої конструкції. Два монтажника 3-го розряду;
- 3) встановлення теплообмінника ОРГ-18-2.3 на опори. Три монтажника 4-6 розрядів;
- 4) монтаж повітропроводів діаметром $Dy = 200$ мм. Два слюсарі-вентиляційники 3, 2 розрядів;
- 5) монтаж арматури запірної для повітропроводів діаметром $Dy = 200$ мм. Слюсар-сантехнік 4 розряду;
- 6) встановлення нагнітальної машини для подачі відхідних газів в ТА. Два монтажники 3 розряду;
- 7) перше робоче випробування зібраної системи циркуляції сушильного агента. Два слюсарі-вентиляційники 5, 3 розрядів;
- 8) остаточна перевірка системи в цілому. Два слюсарі-вентиляційники 5, 3 розрядів;
- 9) повернення монтажного обладнання на склад. Робітник і водій.

Трудомісткість монтажних робіт визначається так

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

де V – об'єм монтажних робіт;

$H_{\text{ч}}$ – норма часу на одиницю вимірюваної величини, люд/год;

B – кількість годин в зміні, годин.

Тривалість робіт з монтажу

$$T = Q / n, \quad (4.4)$$

де Q – трудомісткість робіт з монтажу, люд/дні;

n – кількість задіяних робітників, люд.

Результати розрахунку за п.п. 4.1.3-4.1.4 зведені в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Трудомісткість виконання робіт з монтажу

Найменування робіт	Од. виміру	Об'єм робіт	Норма часу, люд/год	Трудомісткість люд/дні	Виконавці		Тривалість, днів
					кількість	Склад ланки	
1	2	3	4	5	6	7	8
Доставка всіх деталей до місць монтажу	т	0,861	2,1	0,23	2	Робітник, водій	0,12
Встановлення несучої конструкції [14, 20]	т	0,084	27,36	0,284	2	Монтажник 3 розряду	0,14
Монтаж теплообмінника [23]	шт	1	22,66	2,83	3	Монтажник 4, 6 розрядів	0,95
Встановлення повітропроводів діаметром Ду 200мм [24]	100 м	0,17	231,4	4,9	2	Слюсар-вентиляційник, 3, 2 р.	2,44
Монтаж запірної арматури Ду 200 [14].	100 шт	0,02	12	0,03	1	Слюсар-сантехнік 4 розряду	0,03
Монтаж нагнітальної машини [22]	шт	1	15,91	1,99	2	Монтажник 3 розряду	1,0

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Перше випробування системи циркуляції	100 м	0,175	5,4	0,044	2	Слюсар вентиляційник 5, 3 розрядів	0,057
Остаточна перевірка системи	шт	1	2,9	0,3635	2	Слюсар вентиляційник 5, 3 розрядів	0,18

Повернення монтажного обладнання на склад	т	0,075	3,1	0,23	2	Робітник Водій	0,116
				13,454			5,04

Підготовчі роботи до початку монтажу.

Перед початком монтажних робіт повинні бути обов'язково виконані роботи нульового циклу:

- підготовка проїздів, рамп, під'їзних шляхів;
- підготовка фундаментів;
- вкривання монтажних майданчиків спецпокриттям (збірними залізобетонними плитами);
- забезпечення майданчиків основними технологічними комунікаціями (водогонном, каналізацією, електроенергією).

Організація і підготовка самого монтажного майданчика включає в себе:

- а) побутові, складські і виробничі споруди;
- б) майданчики для модульного збирання конструкцій і обладнання;
- в) шляхи для під'їзду автотранспорту;
- г) прокладання тимчасових комунікацій для стисненого повітря, інертних та горючих газів, електроенергії та води;
- д) встановлені та обладнані місця для розрізання, зварювання та термообробки зварних з'єднань.

Щоб забезпечити технологічну послідовність та терміни виконання монтажних робіт, крім вказаних заходів з організації монтажного майданчика потрібно:

- а) організувати розрахунковий запас необхідних конструкцій, розхідних матеріалів і готових виробів;
- б) забезпечити своєчасну поставку необхідних будівельних машин;
- в) забезпечити монтажні бригади необхідними засобами малої механізації, засобами огороження і монтажною оснасткою, засобами вимірювання і контролю, засобами індивідуального захисту у тому складі і тій кількості, як передбачено у ПВР, налагодити інструментальне господарство;

г) транспортування, складування та зберігання матеріально-технічних ресурсів забезпечити відповідно до вимог діючих стандартів та Правил пожежної безпеки України, унеможливити їх пошкодження, псування та втрати.

4.1.8 Монтажене регулювання і остаточна здача системи в експлуатацію

Монтаж системи виконати в такій послідовності:

- розмітити необхідні місця установки обладнання;
- розмітити необхідні місця установки кріплень;
- встановити несучі опори та обладнання, яке необхідно змонтувати.

Монтаж повітропроводів виконати в такій послідовності:

- після розмітки осей установити необхідні підвіски і кронштейни;
- прокласти необхідні повітропроводи, вузли і необхідні заготовки за наміченими осями;
- приєднати обладнання до них;
- установити і вивірити задані проектом уклони;
- остаточно закріпити повітропроводи на опорах.

На справність арматури, обладнання та інших пристроїв і перевірку на герметичність виконують тільки після виконання всіх необхідних монтажних робіт. Якщо передбачена теплова ізоляція, то перевірку на герметичність здійснюють до накладення теплової ізоляції, і остаточного фарбування. Випробовують повітропроводи за ДСТУ-Н Б А.3.1-27:2014 тиском, який перевищує робочий на 0,5 МПа, але не більше 1 МПа протягом 10 хвилин; при цьому допускається деяке зниження тиску (не більше ніж на 0,1 МПа) [14].

Всі випробування оформляють актом. Щоб прийняти змонтовану систему в експлуатацію готують комплект таких документів:

- якщо при монтажних роботах виконувались додаткові роботи і внесено зміни в технічну документацію, то готують акти, креслення і документи погоджень;
- акти на приховані роботи (якщо вони є);
- акти робочих випробувань окремих елементів (обладнання, змонтованих вузлів, пристроїв,) при цьому додаються всі їхні паспорти;

– акти випробувань на ефективність роботи обладнання (насосів, пожежних кранів, водяних баків тощо) та на герметичність мережі в цілому.

Під час остаточного приймання перевіряють:

- чи відповідає монтаж затвердженому проектом;
- надійність та міцність кріплень;
- чи є необхідні ухили для спорожнення повітропроводів від конденсату;
- наявність витоків повітря в обладнанні, арматурі і з'єднаннях;
- ефективність аварійного вимикання;
- роботу змонтованої автоматизації.

Усі виявлені дефекти і неполадки описують в актах приймання, вказують відхилення від затвердженого проекту і їх причину, дають результати випробування обладнання в цілому, вказують якість виконаних робіт, термін для усунення недоробок.

Рівень технічної експлуатації змонтованого обладнання набагато вищий, якщо воно контролюється спеціалізованими експлуатаційними організаціями, чи спеціалізованими ремонтними цехами, які повністю забезпечені необхідними ремонтними матеріалами, запасними деталями, спеціальним обладнанням для потреб поточного ремонту всіх внутрішніх технічних систем [19].

4.2 Автоматизація модернізованої системи

4.2.1 Необхідність автоматизації сушильної техніки

Сучасний розвиток техніки сушіння різних матеріалів значною мірою пов'язаний із застосуванням середніх та високих температур, а в цілому ряді випадків і підвищених вологостей сушильного агента або потужних променистих потоків при використанні радіаційного сушіння, оскільки це дає можливість суттєво інтенсифікувати процес сушіння матеріалів. Але ефективне управління швидкоплинними процесами сушіння неможливе без застосування автоматичного управління та регулювання. При ручному регулюванні в багатьох випадках неможливо здійснити точне підтримування температури сушильного агента або температури випромінюючої поверхні в заданих межах. Використання

автоматизації та автоблокування в сушарках необхідне і за вимогами техніки безпеки, наприклад при сушінні вибухонебезпечних та отруйних речовин, при сушінні струмами високої частоти тощо [25].

Автоматизація управління підвищує культуру експлуатації і ККД сушильної установки, збільшує її видатність, покращує якість сушіння, підвищує надійність роботи, спрощує умови праці та дозволяє суттєво зменшити кількість персоналу обслуговуючого сушарку.

Сучасна техніка комплексної автоматизації досягла значної досконалості, і в даний час широко застосовуються:

1) автоматичне регулювання сушарок неперервної дії, що забезпечує сталість задалегідь визначених значень одного або декількох параметрів режиму сушіння, наприклад, вологості і температури сушильного агента в різних зонах робочої камери сушарки;

2) задалегідь задане програмне автоматичне регулювання роботи сушарок періодичної дії, що забезпечує регулювання параметрів режиму сушіння по мірі протікання процесу сушіння, тобто температура та вологість сушильного агента в робочій камері сушарки змінюється або неперервно, або через певні проміжки часу;

3) автоматичний захист та сигналізація, які оберігають сушильний агрегат від аварій. Найчастіше у таких випадках використовують різні автоматичні сигналізатори, при їх встановленні в кількох сушарках роблять однаковий звуковий сигнал. У схемі передбачається вимикач для припинення звукового сигналу і зроблена можливість його подальшого включення, якщо в момент, коли ще не ліквідована або не локалізована аварія в першій камері, в аварійний режим ввійде будь-яка інша камера. Однак, за наявності автоматичного регулювання процесу окрему термосигналізацію у ряді випадків не встановлюють;

4) автоматичне блокування, що забезпечує вмикання та вимикання групи допоміжних органів та механізмів управління (вентилів, засувок, заслінок тощо) з визначеною послідовністю, якої вимагає технологічний процес. Таким блокуванням, наприклад у камерних газових сушарках, є автоматичне вимикання подачі газу до пальників, перемикання газів на димову трубу з топки та зупинка

сушильного конвеєра, якщо відбудеться аварійна зупинка нагнітального вентилятора.

Навантаження об'єкта (сушарки) за теплоносієм підтримується на сталому значенні регулятором розрідження теплоносія в камері змішувача, який керує клапаном, встановленим на лінії відведення повітря після очисного циклону. За постійного гідравлічного опору в робочій камері сушарки і відсутності підсосу газів з атмосфери така система регулювання розрідження забезпечує стабільність швидкості проходження теплоносія вздовж камери. При цьому оптимальне значення швидкості теплоносія встановлюють з врахуванням того, що з її збільшенням росте швидкість сушіння висушуваного твердого матеріалу.

Зрозуміло, що всі параметри, котрі впливають на показник ефективності сушіння, стабілізувати неможливо. Збурення будуть виникати в результаті зміни як початкової вологості матеріалу, так і сушильного агента, гранулометричного складу матеріалу тощо. У камері може змінюватися розподіл висушуваного матеріалу, а також гідродинамічні умови його обтікання теплоносієм. У зв'язку з цим як основний параметр для регулювання доцільно взяти вологість висушуваної сировини, а регулюючий вплив виконувати зміною витрати гарячого теплоносія. Але, за відсутності надійного приладу для неперервного вимірювання вологості висушуваної сировини та за великих інерційних ефектів в сушарці в якості регулюючого параметра найчастіше використовують температуру теплоносія в камері. Це робити доцільно з точки зору гідродинаміки процесу, бо що на різні види збурення ця величина реагує швидше. Як правило, датчик регулятора температури теплоносія встановлюють в межах або першої третини довжини сушарки, або безпосередньо на вході, тому на початку робочої камери температура сушильного агента змінюється інтенсивніше, ніж на виході. При цьому зменшується також запізнювання сигналу від об'єкта. Датчик температури монтують безпосередньо на поверхні камери [26].

Таким чином, в конвективній камерній сушарці при управлінні процесами сушіння слід регулювати щонайперше співвідношення первинного повітря, вологого матеріалу, температуру теплоносія на вході і виході з робочої камери,

температуру в ній.

4.2.1 Вибір величин, що підлягають регулюванню та каналів регулюючого впливу

Керування витратою відпрацьованого теплоносія здійснюється за схемою, представленою на рисунку 4.1.

Вимірювання витрати відпрацьованого теплоносія здійснюється автоматичним витратоміром Hot Wire MAF (поз.10-1). Принцип його дії базується на тому, наскільки переміститься вимірювальна заслінка в залежності від об'єму повітря, яке нею пропускається. На одній осі разом з чутливою вимірювальною заслінкою є також демпфуюча заслінка і регульований дільник напруги (потенціометр). Він виконаний у вигляді електронної схеми з напаяними доріжками опорів. В процесі повороту датчика-заслінки повзунок переміщується по них, змінюючи таким чином опір. Напруга, яку передає потенціометр передається на електронний блок управління, а вимірюється у відповідності з позитивним зворотним зв'язком. Для корекції роботи потенціометра, в його схему включають також датчик температури відхідних газів, які всмоктуються від ДВЗ. Похибка вимірювань не перевищує $\pm 3\%$, що є допустимим за даних умов [28].

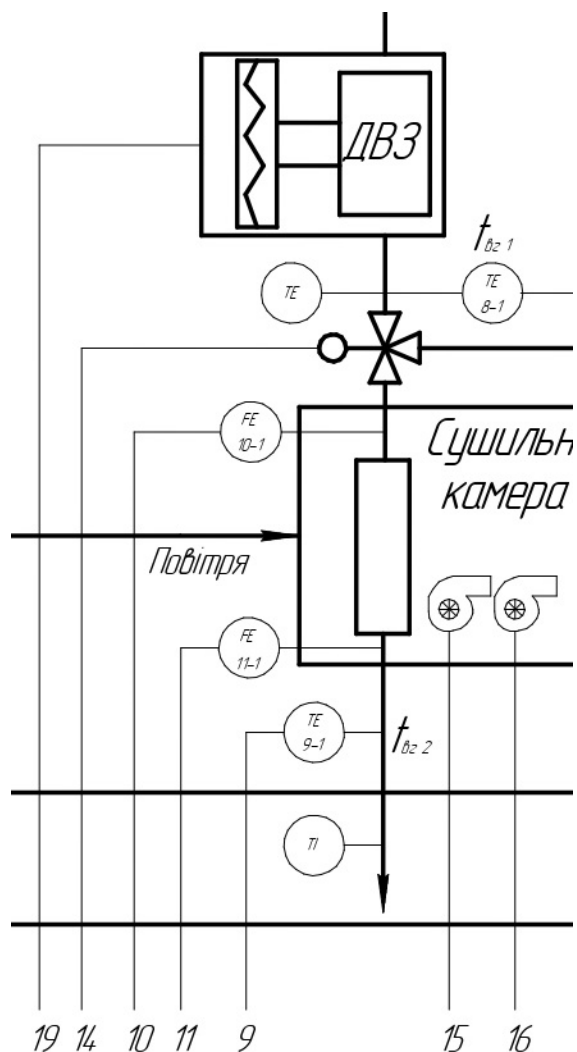


Рисунок 4.1 – Регулювання витрати відхідних газів перед теплообмінним апаратом

Контроль та регулювання витрати здійснюється трьохходовим клапаном, встановленим для розділення потоків HERMAN 23-01 (поз.14) [29]. До клапана підключений сервопривід, який управляється контролером МИК-51Н.

Сам контролер запрограмовано на витрату відхідних газів через теплообмінний апарат на 0,032 кг/с, залишки відхідних газів перенаправляються до димової труби і викидаються.

Для забезпечення надійності системи регулювання температури теплоносія на вході в робочу камеру сушарки потрібно автоматизувати процес регулювання.

Автоматизований процес регулювання теплоносія зображений на рисунку 4.2.

відбувається у відповідності до схеми, яка зображена на рисунку 4.3.

Вимірювання температури виконують термопарним термометром типу ХК (поз. 4-1).

Температура при цьому регулюється автоматичними пускачами нагнітачів, які знаходяться безпосередньо в робочій камері (поз.15, 16). Підвищення температури сигналізує, що теплоносій не достатньо циркулює або відсутній теплообмін з поверхнями, на яких розташована сировина, при зменшенні – навпаки.

4.2.2 Технологічний захист сушарки

Зниження температури повітря на вході в робочу камеру сушарки та справність теплонагрівника свідчить про те, що вимкнувся нагнітальний вентилятор.

В цьому випадку, забезпечення захисту відбувається за схемою яка подана на рисунках 4.4 та 4.5.

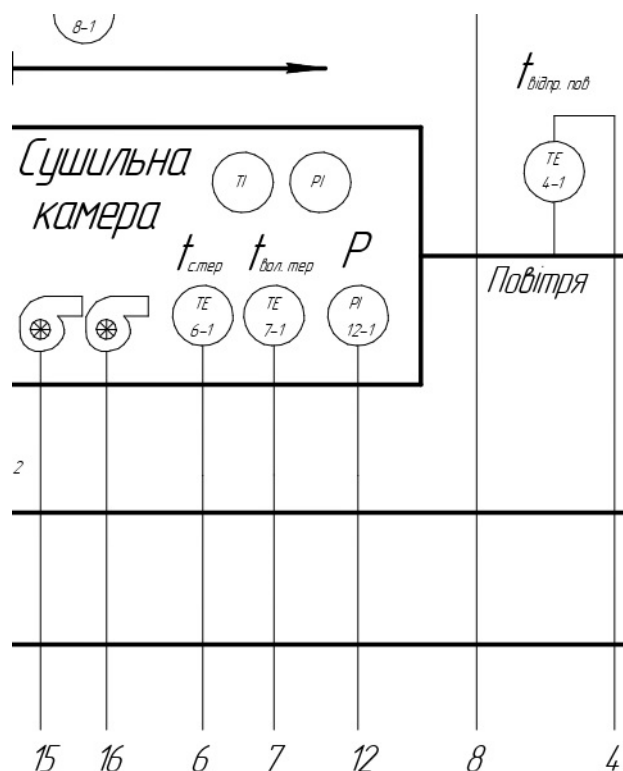


Рисунок 4.3 – Регулювання температури повітря після сушильної камери

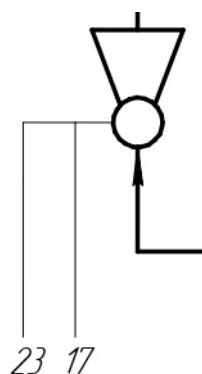


Рисунок 4.4 – Підключення нагнітального вентилятора

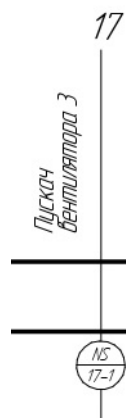


Рисунок 4.5 – Підключення пускача автоматичного

Якщо вимикається нагнітальний вентилятор, автоматичний пускач TeSys (поз.17) [31] пробує виконати три спроби запуску двигуна вентилятора з інтервалом 3с. При незадовільному результаті запуску двигуна спрацьовує тривожна сигналізація.

В разі застосування в якості теплогенератора ТНУ можливе зникнення електроживлення компресора та вимкнення компресора теплового насосу. Тоді спрацьовує аналогічний механізм запуску.

Схема захисту від зникнення електроживлення на компресорі теплового насосу та за його вимкнення зображена на рисунку 4.6.

Автоматичні пускачі (поз.19 та 20) спрацьовують при вимкненні обладнання.

4.2.3 Вибір контрольованих величин, які підлягають сигналізації та їх обґрунтування

Робота теплової схеми будь-якої сушарки – досить складний процес. Через це необхідно вести постійний контроль за тими процесами, що відбуваються при її роботі. Особливо важливим є контроль за температурами, оскільки їх зміна може призвести до отримання браку. Задля забезпечення контролювання технологічного процесу необхідно встановити контроль за такими параметрами:

- а) контроль температури до та після конденсатора;
- б) контроль температури до та після сушильної камери;
- в) контроль вологості в сушильній камері;
- г) контроль температури до та після випарника;
- д) контроль динамічного тиску в сушильній камері.

Примітка: пункти а) і г) необхідні тільки тоді, коли як теплогенератор застосовується ТНУ.

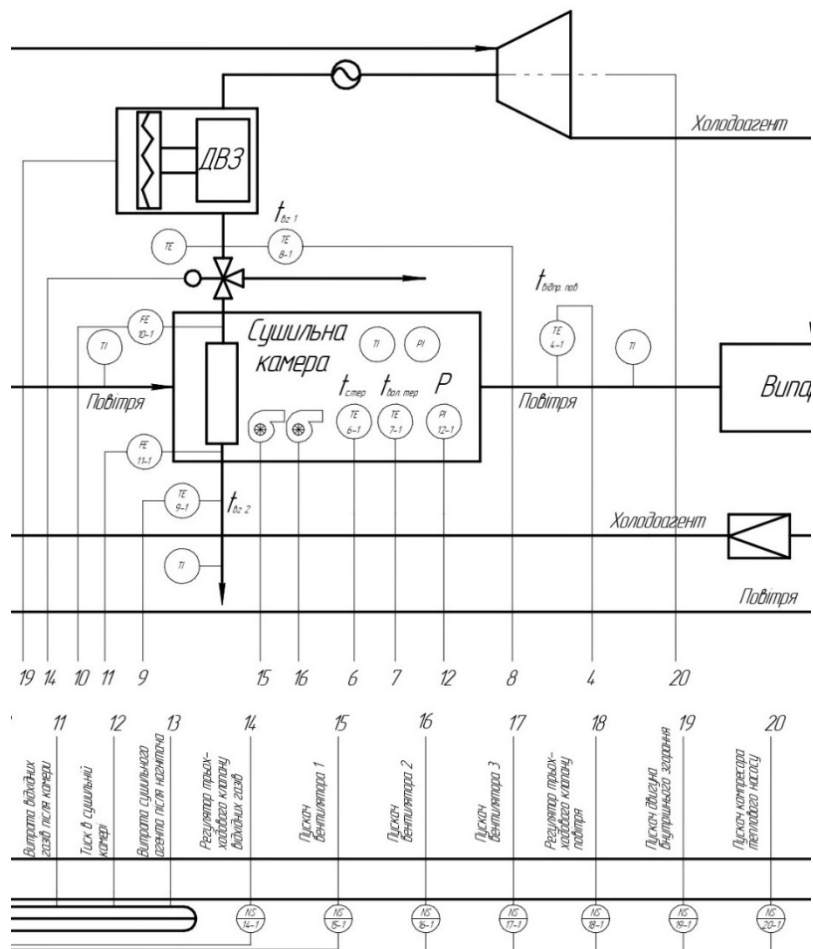


Рисунок 4.6 – Технологічний захист від вимкнення двигуна компресора теплового насосу

Температури технологічного процесу регулюється за схемою зображеною на рисунку 4.7.

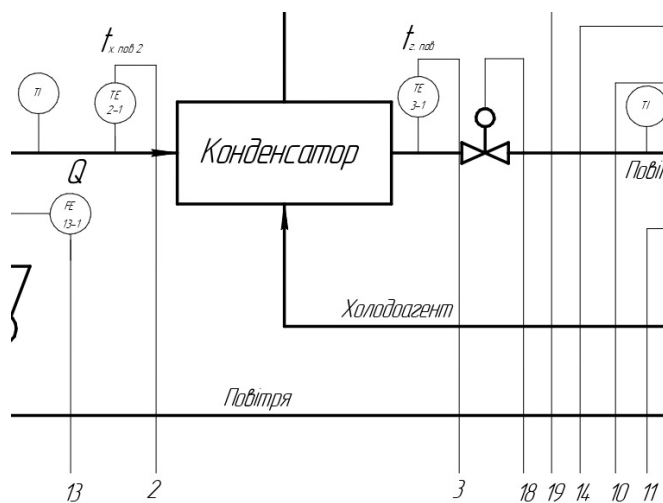


Рисунок 4.7 – Контроль температур перед конденсатором та після нього по контуру повітря

Контроль температур перед робочою камерою та після неї зображений на рисунку 4.8.

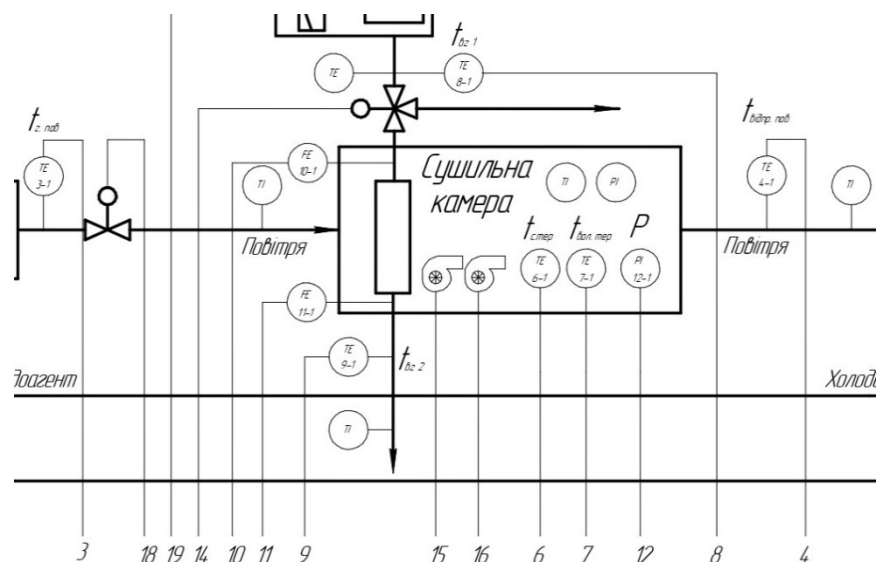


Рисунок 4.8 – Контроль температур перед сушильною камерою та після

Контроль температур перед випарником та після нього в контурі повітря здійснюється за схемою, поданою на рисунку 4.9.

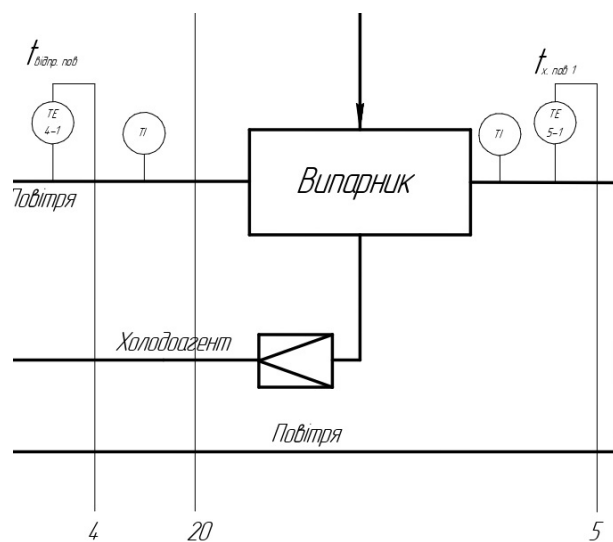


Рисунок 4.9 – Контроль температур перед випарником та після нього в контурі повітря

Всі вимірювання відбувається високотехнологічними термопарами типу ТС81, що мають діапазон вимірювання температур від мінус 35 до +575 °С і з похибкою вимірювання 1% [32].

Всі термопари без обов'язково дублюються масляними манометричними термометрами на випадок несправності електрообладнання.

Сам технологічний контроль вологості повітря в робочій камері відбувається за схемою, яка представлена на рисунку 4.10.

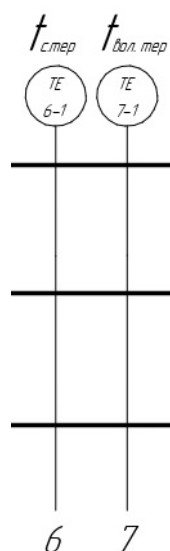


Рисунок 4.10 – Контроль вологості повітря в робочій камері

Вимірювання вологості відбувається двома термометрами РТ-0102 (поз.6-1 та 7-1), відповідно сухого та мокрого, з похибкою не більше $\pm 3\%$ (поз.6-1 та 7-1) [33].

Контроль динамічного тиску в робочій камері відбувається за схемою, яка представлена на рисунку 4.11.

Покази тиску в сушильній камері визначаються електронним манометром марки ОПТИМА 0-1 (поз.12-1).

Покази тиску дублюються манометром WİKA 111. Манометри моделі 111 з серповидною мембраною побудовані на основі відомої вимірювальної системи з трубкою Бурдона. При подачі тиску відхилення трубки Бурдона, яке пропорційне тиску в штуцері, перетворюється в механічне переміщення трубки і за допомогою тяги відображається на циферблаті [34].

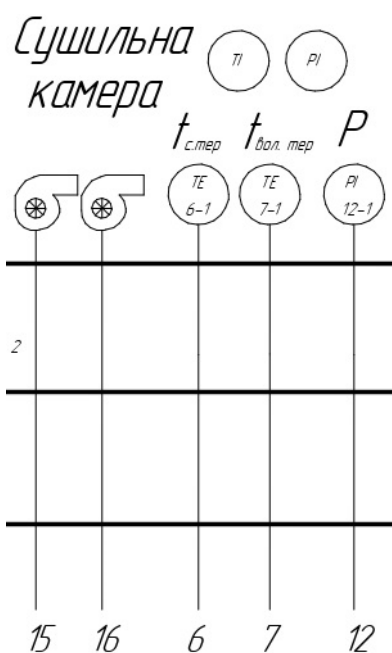


Рисунок 4.12 – Контроль тиску повітря в сушильній камері.

Технологічна сигналізація. Вона характеризується подачею зазначених сигналів про зміну оптимального режиму або порушення технологічного процесу. Якщо відхилення температури в контрольних точках стає більшим ніж на 5% від заданої, про це оператора попереджує світловий сигнал.

У випадку виходу головного вентилятора з ладу або виходу з ладу дуттєвих вентиляторів топкового пристрою аварійна сигналізація вмикається повністю, тобто як звукова так і світлова.

Звукова сигналізація передбачена у тих випадках, як, наприклад, підвищення тиску в сушильній камері чи вихід з ладу теплонагрівника.

Окремими сигналами оснащений контролер на випадок негерметичності ТА в сушильній камері або пожежної сигналізації.

У контролера передбачено звуковий сигнал також і при порушенні електропостачання.

Контрольна сигналізація передбачена для попередження оператора світловим сигналом якщо в точках контролю відбувається відхилення показників від номінальних значень.

Схема підключення контролера показана на рисунку 4.13.

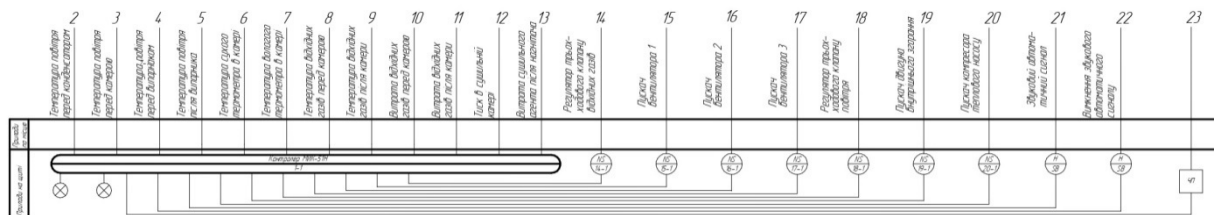


Рисунок 4.13 – Схема підключення контролера МІК-51Н.

4.2.4 Підбір регулюючих органів

Розрахунок шиберів.

Шибером називають запірний пристрій типу поворотної засувки, яким відкривається і закривається канал для руху газових середовищ або рідин.

У стандартних шиберах, (див. рис. 4.14), сам затвор виконаний у вигляді полотна 1, яке переміщається перпендикулярно потоку. При невеликих статичних тисках (до 10 кПа) шибери досить широко застосовують для регулювання витрати і газів, і повітря. Їх встановлюють на повітропроводах, різних коробах і каналах з перетином будь-якої форми, та найчастіше їх застосовують на каналах прямокутного 2 і круглого 3 перерізів. Шибери, котрі встановлюються в прямокутних каналах, мають лінійну конструктивну характеристику, а в круглих трубопроводах – нелінійну.

Шиберні заслінки виготовляють з різних матеріалів в залежності від тих умов де вони працюють. Для роботи з інертними газами, що мають температуру до 300 °С шибери, як правило, виготовляють з листової сталі, а з температурою вищою за 300 °С - з чавуну. Шибери з легованих сталей зі спеціальним покриттям застосовують для регулювання витрат агресивних газів [35].

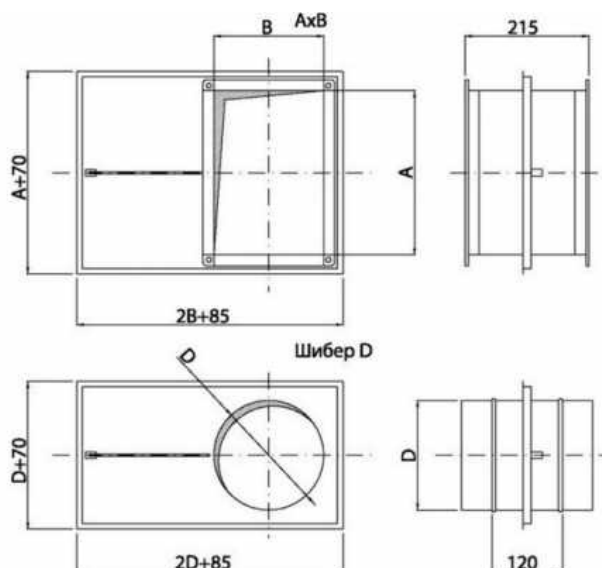


Рисунок 4.14 – Види різних шиберів

Для того, щоб розрахувати шибер визначають зусилля F , яке необхідне для переміщення виконуючого органу. Найбільше зусилля для переміщення виконуючого органу потрібно в положенні мінімального відкриття шибера [35].

$$F = K \cdot \Delta P \cdot S + G, \quad (4.5)$$

де ΔP - перепад тиску на самому шибері;

S - площа рухомої частини заслінки, на яку діє перепад тиску;

K - коефіцієнт тертя;

G - маса рухомої частини заслінки

$$F = 0,1 \cdot 232 \cdot 3,85 \cdot 10^{-3} + 6 = 3,26 \text{ (Н)}.$$

Потужність приводу шибера необхідно вибирати з великим запасом, тому що коефіцієнт тертя значно зростає через можливість забруднення опорної поверхні в процесі її експлуатації.

4.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

У цьому розділі магістерської дипломної роботи розглянуті заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час реалізації заходів з енергозбереження в камерних сушарках. На будівельно-монтажний персонал, який здійснює монтаж інженерного обладнання будівель і споруд для ефективної роботи камерних сушарок: прокладання трубопроводів, монтаж сантехнічного, опалювального, вентиляційного та газового обладнання цієї системи забезпечення мікроклімату, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [58,59]: фізичні, хімічні та трудового процесу.

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.3.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

Монтажні та налагоджувальні роботи під час монтажу обладнання системи забезпечення ефективної роботи камерних сушарок потрібно виконувати з урахуванням вимог ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Державні будівельні норми України. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення, роботи на висоті – згідно з вимогами НПАОП 0.00-1.15, роботи у вибухо-пожежонебезпечних зонах – відповідно до вимог НПАОП 0.00-5.12 [60].

Під час монтажу тросових проводок їх остаточне натягування повинно бути

здійснене тільки після встановлення проміжних опор. Під час натягування троса триматися за нього та перебувати в зоні натягування не дозволяється. Монтаж блоків шинопроводів необхідно виконувати після монтажу всіх конструкцій кріплення.

Під час протягування кабелю через отвори в стінах робітники повинні перебувати по обидва боки стіни. Відстань від стіни до крайнього положення рук робітників повинна бути не менше ніж 1 м. Розпалення пальників, паяльних ламп, розігрівання кабельної маси і розплавленого припою необхідно робити на відстані не менше ніж 2 м від кабельного колодязя. Розплавлений припій і розігріта кабельна маса повинні бути опущені в спеціальних ківшах або закритих бачках, робітники повинні використовувати захисні окуляри.

Під час нагрівання кабельної маси для заливання кабельних муфт у закритому приміщенні повинна бути забезпечена його вентиляція (провітрювання). Ємності, що застосовуються під час нагрівання, повинні відповідати вимогам пожежної безпеки.

Прокладати кабелі та проводи допускається тільки в повністю закріплені труби, лотки, короби тощо.

Під час виконання робіт, пов'язаних із перебуванням людей усередині повітрозбірника, вентиля на живильних трубопроводах необхідно закрити та встановити замки, вивісити попереджувальні плакати. Спускні вентиля повинні бути відкриті та позначені попереджувальними плакатами або написами.

Запобіжники в електричних колах трансформаторів напруги і силових трансформаторів, на яких виконуються налагоджувальні роботи, повинні бути зняті. На місці, де зняті запобіжники, необхідно вивісити плакат: «Не вмикати. Працюють люди».

Під час виконання робіт на відкритих розподільних установках спуски та шлейфи від ліній електропостачання біля кінцевих опор або на вхідних конструкціях повинні бути закорочені та заземлені.

Підключення змонтованих електричних мереж і електрообладнання до діючих електромереж повинна здійснювати служба експлуатації цих мереж. Не

допускається використовувати і приєднувати як тимчасові електричні мережі та електроустановки, що не прийняті у визначеному порядку в експлуатацію, а також виконувати без дозволу налагоджувальної організації електромонтажні роботи на змонтованих і переданих під налагодження електроустановках.

Допускається тимчасова подача напруги до 1000 В на щити, станції управління та силові зборки, на яких не введено експлуатаційний режим, для проведення пусконалагоджувальних робіт за постійною схемою, але в такому разі обов'язки з виконання заходів, що забезпечують безпечні умови праці, якщо подано напругу, покладаються письмово на керівника пусконалагоджувальних робіт.

Запобіжники мереж керування апаратом, що монтується, необхідно зняти на весь час монтажу.

Затягування проводів через протяжні коробки, ящики, труби, блоки, в яких укладено проводи, що перебувають під напругою, а також прокладання проводів і кабелів у трубах, лотках і коробках, що не закріплені відповідно до проекту, не допускається. Перевірку опору ізоляції проводів і кабелів за допомогою мегометра необхідно виконувати ланкою у складі не менше двох осіб, з яких одна має IV групу, а друга III групу з електробезпеки. Кінці проводів і кабелів, що у процесі випробування можуть бути під напругою, повинні бути ізольовані і(чи) огорожені.

Випробування електроприводів дозволяється після встановлення зв'язку між персоналом, що перебуває у приміщенні щита чи пульта керування, і біля електроприводів.

Під час налагодження лінійних і кінцевих вимикачів, датчиків та інших засобів автоматики повинна бути знята напруга з силових електромереж.

4.3.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В). Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості.

Роботи в діючих електроустановках необхідно виконувати відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів, Правил улаштування електроустановок, НПАОП 40.1-1.07, НПАОП 0.00-1.30. Електромонтажні і налагоджувальні роботи в діючих електроустановках необхідно здійснювати після зняття напруги з усіх струмопровідних частин, що знаходяться в зоні виконання робіт [61,62].

Зона виконання робіт повинна бути відділена від діючої частини електроустановки суцільною чи сітчастою огорожею, що перешкоджає проходу монтажного персоналу в зону діючої установки. Персонал і механізми монтажної організації не можуть перетинати приміщення і території у відгородженій зоні виконання робіт, де розташовані діючі установки.

Виділення для монтажної організації зони виконання робіт, вжиття заходів із запобігання помилковій подачі в неї напруги, огороження цієї зони від діючої частини електроустановки із зазначенням місць проходу персоналу і проїзду механізмів повинно бути оформлено актом-допуском, а виконання робіт персоналом монтажної організації – оформлено нарядом- допуском.

Наглядач несе відповідальність за зберігання тимчасових огорож робочих місць, наявність попереджувальних плакатів, запобігання подаванню робочої напруги на вимкнуті струмопровідні частини, контролює дотримання членами бригади монтажників безпечних відстаней до струмопровідних частин, що залишилися під напругою.

Персонал електромонтажних організацій перед отриманням дозволу на роботи в діючих електроустановках повинен бути проінструктований з електробезпеки на робочому місці відповідальною особою, що допускає до роботи.

Робоча напруга на нові змонтовані електроустановки може бути подана за рішенням робочої комісії. У разі необхідності усунення виявлених недоробок електроустановку необхідно вимкнути і перевести в розряд недіючих шляхом демонтажу шлейфів, шин, спусків до обладнання чи від'єднання кабелів, а вимкнені струмопровідні частини повинні бути закорочені та заземлені на весь час виконання робіт з усунення недоробок.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [61,62]:

для запобігання електротравмам від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними основними та допоміжними електрозахисними засобами захисту. До основних відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками; до додаткових (до 1000 В): діелектричні каски; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

4.3.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Мікроклімат. Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустимі параметри мікроклімату, значення яких наведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [64]: температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинна перевищувати 2°C; якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути

віддалені від них на відстань не менше 1 м; для забезпечення нормованих значень швидкості руху повітря проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

4.3.4 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [64]. Нормовані параметри забруднення повітря в робочій зоні наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимальна разова	Середньодобова	
Оксид вуглецю		20	4
Пил нетоксичний	4	4	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця [64]. Нагромадження пилу вказує на необхідність у вживанні заходів з очищення забруднених поверхонь. Потрібно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (менша зернистість), тим вище небезпека.

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати металевий пил якнайчастіше, щодня протирати гарячі поверхні, при високих концентраціях пилу обробляти запилені поверхні по частинам. Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу під час прибирання.

4.3.5 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- роз- ряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів).

4.3.6 Виробничий шум

Нормовані параметри виробничого шуму в робочій зоні за ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки наведено в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщеннях, де здійснюється монтаж системи забезпечення мікроклімату, потрібно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.3.8 Виробнича вібрація

Під час монтажних робіт присутня вібрація типу За. Нормовані параметри виробничої вібрації в робочій зоні наведено в таблиці 4.13.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 4.13 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3^*}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

4.3.9 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [58]. Робота монтажника технологічного обладнання системи

забезпечення роботи камерних сушарок потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кґ/м) – до 290; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кґ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кґ – до 30 кґ; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук) – до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кґ/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю мязів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаємного розташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності. Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) – більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25. Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за

безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших. Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

4.3.10 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Оцінка можливих наслідків вибуху газу в разі виникнення аварійної ситуації.

Розрахунок надмірного тиску вибуху газоповітряної суміші

Густина газу при розрахунковій температурі $t_p = 22$ °C (згідно завдання)

$$\rho_{г.п} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{16}{22,413(1 + 0,0036 \cdot 22)} = 0,66 \text{ (кг} \cdot \text{м}^{-3}\text{)},$$

де M – молярна маса речовини ($M(C_xO_yH_z) = x \cdot M_C + y \cdot M_O + z \cdot M_H$), $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ (для CH_4 – $M(\text{CH}_4) = 12 + 4 \cdot 1 = 16$); V_0 – мольний об'єм, що дорівнює $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$

Стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об.)

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36,$$

де $\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 1 + \frac{4}{4} = 2$ – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції згоряння (при розрахунку β атоми азоту не враховуються); $n_c = 1$, $n_n = 4$, $n_o = 0$, $n_x = 0$ – число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів ГР (робоче паливо – газ метан).

Об'єм газу, що вийшов з апарата

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V = 0,01 \cdot 200 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ (м}^3\text{)},$$

де $P_1 = 200$ – тиск в апараті, кПа (згідно завдання); $V = 0,3$ – об'єм апарата (згідно завдання), м^3 ; P_0 – атмосферний тиск, що дорівнює $101,3$ кПа.

Об'єм газу, що вийшов з трубопроводів

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 3,46 + 0,6 = 4,06 \text{ (м}^3\text{)},$$

де V_{1T} – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу до його перекривання, м^3 ; V_{2T} – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу після його перекривання, м^3 .

$$V_{1T} = q \cdot \tau = 0,05 \cdot 120 = 0,6 \text{ (м}^3\text{)},$$

де $q=0,03 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ – витрата газу, яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску у трубопроводі, його діаметру, температури газового середовища тощо (згідно завдання); $\tau = 120 \text{ с}$ – час перекривання у режимі автоматики (згідно завдання);

$$V_{2T} = 0,01 \pi \cdot P_2 (r_{1,1}^2 L_1 + r_{1,2}^2 L_2 + \dots + r_{n,n}^2 L_n) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot (0,026^2 \cdot 8 + 0,032^2 \cdot 5) = 3,46 (\text{ м}^3),$$

де $P_2 = 300$ – максимальний тиск у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа (згідно завдання); $r_{1,2} = 0,026; 0,032 \text{ м}$ – внутрішній радіус трубопроводів, м; $L_{1,2} = 8; 7,9$ – довжини трубопроводів від аварійного апарата до засувки, м (згідно завдання); $P_0 = 101,3$ – атмосферний тиск, кПа.

Масу газу, що потрапив до приміщення під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою:

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_G = (0,3 + 4,06) \cdot 0,66 = 2,9 (\text{ кг}),$$

Надлишковий тиск вибуху ΔP для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{z,n}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_H} = (900 - 101) \cdot \frac{2,9 \cdot 0,5 \cdot 100}{200 \cdot 0,66 \cdot 9,36 \cdot 3} = 33,3 (\text{ кПа}),$$

де P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі (приймається 900 кПа); P_0 – початковий тиск, кПа (приймається 101 кПа); m – маса ГГ або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, яку визначають для ГГ; $Z = 0,5$ – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення; $V_{\text{вільн}} = 740$ – вільний об'єм приміщення, м^3 (згідно завдання); K_H – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність процесу горіння (приймається $K_H = 3$).

Визначення розмірів зони поширення полум'я.

Горизонтальні розміри зони, м, які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я (C_{HKMP}), обчислюють за формулою:

$$R_{HKMP} = 14,5632 \cdot \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{HKMP}} \right)^{0,333} = 14,5632 \cdot \left(\frac{2,9}{0,66 \cdot 14} \right)^{0,333} = 9,9 \text{ (м)},$$

де m_{Γ} - маса ГГ, що надійшли до відкритого простору під час аварійної ситуації, кг; ρ_{Γ} - густина ГГ при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; C_{HKMP} - нижня концентраційна межа поширення полум'я ГГ 14 % (об.).

За початок відліку горизонтального розміру зони приймають зовнішні габаритні розміри апаратів, установок, трубопроводів тощо. У всіх випадках значення R_{HKMP} повинно бути не менше 0,3 м для ГГ і ЛЗР.

Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання внаслідок вибуху.

Інтенсивність теплового випромінювання розраховуємо для пожежі «вогненна куля».

Ефективний діаметр «вогняної кулі» D_s , м, визначаємо за формулою:

$$D_s = 5,33 m^{0,327} = 5,33 \cdot 2,9^{0,327} = 7,55 \text{ (м)}.$$

Висоту центра «вогняної кулі» визначаємо

$$H = D_s / 2 = 7,55 / 2 = 3,775 \text{ (м)}.$$

Час існування «вогняної кулі» t_s , с, визначаємо за формулою

$$t_s = 0,92 m^{0,303} = 0,92 \cdot 2,9^{0,303} = 1,27 \text{ (с)}.$$

Відстань від зовнішніх меж кулі до точки на поверхні землі безпосередньо під центром «вогняної кулі»

$$r = \sqrt{D_s^2 + H^2} = \sqrt{7,55^2 + 3,775^2} = 6,54 \text{ (м)}$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу

$$\begin{aligned} \psi &= \exp \left[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2) \right] = \\ &= \exp \left[-7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{(6,54^2 + 3,775^2)} - 7,55 / 2 \right) \right] = 0,76 \end{aligned}$$

Кутовий коефіцієнт опромінення

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot \left[(H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5}} =$$

$$= \frac{3,775 / 7,55 + 0,5}{4 \cdot \left[(3,775 / 7,55 + 0,5)^2 + (6,54 / 7,55)^2 \right]^{1,5}} = 0,11,$$

Інтенсивність теплового випромінювання обчислюємо за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi = 450 \cdot 0,11 \cdot 0,76 = 37,6 \text{ (кВт}\cdot\text{м}^{-2}\text{)},$$

де E_f – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я, кВт·м⁻², величину E_f приймаємо рівною 450 кВт·м⁻².

Висновки до Розділу 4. Розроблено технологію монтажу теплообмінного апарата ОРГ-18-2.3 в сушильну камеру для підігріву теплоносія в камерній сушарці КТУ-11.

Виконано підбір обладнання і матеріалів для монтажу теплообмінника і нагнітальної машини ВЦУН 280x127-5,5-2, визначено загальну масу обладнання, яка склала 861 кг.

Визначено склад і об'єми робіт, трудомісткість виконання монтажних робіт, необхідне обладнання для монтажу. Тривалість монтажних робіт склала 5 днів. Розраховано необхідну кількість робітників, необхідних для монтажних робіт, із зазначенням їхніх спеціальностей.

Після проведення необхідних розрахунків розроблені календарний графік монтажу системи, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів.

Виконано автоматизацію сушильної установки періодичної дії з різними типами теплогенератора, на базі традиційних засобів автоматики, розглянуто засоби контролю та автоматизації технологічних процесів, точки контролю рекомендовано вивести на пульт керування.

Забезпечено повну автоматизацію управління технологічним процесом.

Підготовлено схему контролю та регулювання температури теплоносія та його вологості. Діапазон регульованих температур від 40 до 150 °С.

Розроблено заходи з охорони праці.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Кошторисна документація до магістерської кваліфікаційної роботи складена у відповідності до КНУ Настанова з визначення вартості будівництва [58].

Кошторисна документація складена за допомогою програмного комплексу Будівельні Технології: Кошторис (табл.5.1-5.3) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН); кошторисних цін на матеріали, виробу та конструкції, загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників до КНУ.

Кошторисна вартість сушарки визначлась: в локальному кошторисі на придбанняобладнання (таблиця 5.1). в локальному кошторисі на монтаж обладнання (Таблиця 5.2), загальна варість – в об'єктному кошторисі (таблиця 5.3).

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітна плата будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації 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 Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

Будівельні Технології: Кошторис 8 Онлайн

Додаток 2
до Настанови (пункт 3.11)

Таблиця 5.1 - Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 03-001-001

Придбання сушарки. сушарка

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

ОСНОВА: креслення(специфікації) №

Кошто- 722,667 тис. грн.

№ 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	2203-3036	Сушарка розпорошувальна 525.00.00.000	шт	1.0	695360.08	695360
		Разом				695360
		Транспортні та заготівельно-складські витрати				27307
		Всього по кошторису				722667

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Таблиця 5.2 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 03-001-002

на Монтаж сушарки. сушарка
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість 17.484 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.15494 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 11.948 тис. грн.
Середній розряд робіт 3.9 розряд

Складений в поточних цінах станом на 29 жовтня 2023 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 зайня- тих обслугову- ванням машин	
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	за- робітної плати	експлуа- тації машин	тих, що обслугову- ють машини	
										за- робітної плати	в тому числі за- робітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Будівельні Технології: Кошторис 8 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КМ2-83-1	Монтаж сушарки роlikової з паровим підігріванням	т	1.5	8328.81	1192.40	12493	10191	1789	92.3000	138.45
					6794.20	298.39			448	3.4351	5.15
		Разом прямих витрат по кошторису					12493	10191	1789		138.45
									448		5.15
		Разом прямі витрати				грн.	12493				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	513				
		вартість ЕММ				грн.	1789				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		448			
		заробітна плата робітників				грн.		10191			
		всього заробітна плата				грн.		10639			
		Загальновиробничі витрати				грн.	4991				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					11.34
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		1309			
		Всього по кошторису				грн.	17484				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					154.94
		Кошторисна заробітна плата				грн.		11948			

Таблиця 5.3 - Об'єктний кошторис № 03-001

на будівництво

сушарка

(найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

Кошторисна вартість	740.151 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0.15494 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	11.948 тис. грн.
Вимірник одиничної вартості	

Складений в поточних цінах станом на 29 жовтня 2023 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудомісткість, 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	03-001-001	Придбання сушарки		722.667	722.667	-		
2	03-001-002	Монтаж сушарки	17.484		17.484	0.15494	11.948	
		Всього по кошторису	17.484	722.667	740.151	0.15494	11.948	

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Загальні витрати інноваційного проекту представлені в таблиці 5.4, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт (значення приймається з локального кошторису таблиці 5.3).

Таблиця 5.4 – Перелік інноваційних витрат

Орієновна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	7,40
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	1,48
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	11,10
Проектування	2,5	4	18,50
Експертиза інноваційного рішення	1	1	7,40
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	14,80
Виготовлення нового виробу	100	6	740,15
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	22,20
Витрати на підготовку кадрів	5	2	37,01
Всього		21	860,06

Показники комерційної ефективності проекту (таблиця 5.5).

Для розрахунку показників економічної ефективності приймаємо норму дисконту 16%.

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

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-60,69	-930,363	258,17	446,59	630,23	778,09	972,44
2	Сальдо реальних грошей	-60,69	-461,343	258,17	404,36	588,00	739,98	938,45
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-60,69	-522,035	-263,86	140,50	728,51	1468,48	2406,93
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	-70,40	-930,36	222,56	331,89	403,76	429,73	462,99
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п .5 ((t)+(t-1))	-70,40	-1000,77	-778,20	-446,31	-42,55	387,18	850,18

З таблиці 5. 5 видно від'ємне сальдо накопичених реальних грошей на протязі п'ятих років реалізації проекту.

Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту

Чистими грошовими надходженнями визначаються за формулою:

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

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.

$$NV = 972,44 \text{ тис. грн.}$$

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.

$$NPV = 850,88 \text{ тис. грн.}$$

Якщо $NPV > 0$, то проект можна рекомендувати до реалізації;

якщо $NPV < 0$, то проект необхідно відхилити;

$NPV = 0$, то в разі прийняття рішення про реалізацію проекту 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.

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 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 5.4.

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

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-70,40	-930,36	222,56	331,89	403,76	429,73	462,99
Кумулятивна	-70,40	-1000,77	-778,20	-446,31	-42,55	387,18	850,18

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

$$T=3+42,55/429,73=3,1 \text{ років.}$$

Висновки

Склали кошторисні документи – локальні кошториси, об'єктний кошторис.

В кошторисах пораховано:

- Кошторисна вартість $K_v = 740,151$ тис. грн.
- Кошторисна заробітна плата ЗП = 11,948 тис. грн.
- Кошторисна трудомісткість $T = 0,154$ тис. люд –год
- Вартість матеріалів – 722,667 тис. грн.

Розрахували основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект:

- Чисті грошові надходження – 972,44 тис. грн.;
- Чиста поточна вартість –850,18 тис. грн.;
- Термін окупності, розрахований кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 3,1 роки.

ВИСНОВКИ

Аналіз ексергетичного балансу камерної сушильної установки показує, що корисні втрати ексергії на випаровування вологи складають 14,5%. Найбільші втрати ексергії проходять в паровому калорифері (у випадку його застосування) 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 не може врахувати явища незворотності процесів тепло- і масообміну.

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

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

Розроблено технологію монтажу теплообмінного апарата ОРГ-18-2.3 в сушильну камеру для підігріву теплоносія в камерній сушарці КТУ-11.

Виконано підбір обладнання і матеріалів для монтажу теплообмінника і нагнітальної машини ВЦУН 280x127-5,5-2, визначено загальну масу обладнання, яка склала 861 кг.

Визначено склад і об'єми робіт, трудомісткість виконання монтажних робіт,

необхідне обладнання для монтажу. Тривалість монтажних робіт склала 5 днів. Розраховано необхідну кількість робітників, необхідних для монтажних робіт, із зазначенням їхніх спеціальностей.

Після проведення необхідних розрахунків розроблені календарний графік монтажу системи, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів.

Виконано автоматизацію сушильної установки періодичної дії з різними типами теплогенератора, на базі традиційних засобів автоматики, розглянуто засоби контролю та автоматизації технологічних процесів, точки контролю рекомендовано вивести на пульт керування.

Забезпечено повну автоматизацію управління технологічним процесом.

Підготовлено схему контролю та регулювання температури теплоносія та його вологості. Діапазон регульованих температур від 40 до 150 °С.

Визначено економічну привабливість даного інноваційного проєкту.

Розроблено заходи з охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Szargut J. Exergy method: technical and ecological application . Wit press, Southampton, Boston, 2005. 160 p.
2. 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.
3. Rant Zoran. Termodinamika : knjiga za uk in prakso / Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2000. 644 s.
4. Оцінка потоків енергії/ексергії та їх втрат у системі «джерело тепла – огорожувальні конструкції – оточуюче середовище»: метод. вказ. до викон. комп. практику 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.
5. Ексергетичний аналіз. URL : https://pidru4niki.com/70578/tehnika/eksergetichniy_analiz (дата звернення 15.11.2023).
6. 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.
7. Співак О. Ю., Резидент Н. В., Кримняк Я. М. Аналіз складових ексергетичного ККД камерної конвективної сушарки / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, №1, 2023. С. 101-106.
8. Shargut, Ya., Petela, R. Eksergiya. Moskow: Energiya, (1968). 278 p.
9. Kotas T.J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. Krieger publishing company, Malabar, Florida, 1995. 328 p.
10. Petela R. Thermal Radiation Exergy / Sat. "Problems of thermodynamic analysis (exergy method). Ed. "The World" Moskow: 1965, p. 222-237.
11. Камерна сушарка КТУ-11 для харчових продуктів [Електронний ресурс]. URL: <https://prom.ua/p714484147-kamernaya-sushilka-ktu.html>. Дата звернення 26.10.2023.

11. Кундрат А.М., Кундрат М.М. Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel : навч. посібн. Рівне: НУВГП, 2014. 252 с.
12. Камерні сушарки. [Електронний ресурс]. URL : https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_21/page14.html (дата звертання 15.11.2023).
13. Теплообмінні апарати в промисловості [Електронний ресурс]. URL : <https://muctr.ua/upload/iblock/96d/Lektsiya16.pdf>. (дата звертання 15.11.2023).
14. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. [Електронний ресурс]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-ventilyacziya-ta-kondycziyvannya-povitrya.-zbirnyk-20.pdf>. Дата звернення 18.01.2023.
15. MERCEDES BENZ SPRINTER 313CDI [Електронний ресурс]. URL : <https://www.mbtruck.ru/obzor-avto/mercedessprinter/2006/313cdi/>. Дата звертання 25.12.2022.
16. Багатофункціональний телескопічний навантажувач JCB 540 140 313CDI [Електронний ресурс]. URL: <https://stroyplys.ua/34-pogruzchik-teleskopicheskiy-jcb-540-140.html>. Дата звертання 26.12.2022.
17. Зварювальний напівавтоматичний апарат Tesla Weld MIG/MAG/FCAW/TIG/MMA 302 [Електронний ресурс]. URL: <https://teslaweld.com/svarochnyy-poluavtomaticheskiy-apparat-tesla-weldmig-mag-tig-mma-302>. Дата звертання 27.12.2022.
18. Вентилятор відцентровий ВВД №5 [Електронний ресурс]. URL: <https://systemax.com.ua/p154064199-ventilyatortsentrobezhnij-vvd.html>. Дата звертання 25.12.2022.
19. Абрашкевич Ю. Д., Пелевін Л. Є. Обладнання для монтажних робіт. Навч. посібн. Київ: КНУБА, 2016. 232 с.
20. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 9. Металеві конструкції. [Електронний ресурс]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-metalevi-konstrukeziyi.-zbirnyk-9.pdf>. Дата звертання 25.12.2022.

21. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 26. Теплоізоляційні роботи. [Електронний ресурс]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-teploizolyacziyni-roboty.-zbirnyk-26.pdf>. Дата звернення 18.01.2023.
22. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. (Збірник 7). Компресорні установки, насоси і вентилятори: [Електронний ресурс]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/12/knu-reknu.-kompresorni-ustanovky-nasosy-i-ventylyatory.-zbirnyk-7.pdf> . Дата звернення 18.01.2023.
23. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. (Збірник 6). Теплосилове устаткування: [Електронний ресурс]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/12/knu-reknu.-teplove-ustatkuvannya.-zbirnyk-6.pdf> Дата звернення 18.01.2023.
24. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. (Збірник 12). Технологічні трубопроводи: [Електронний ресурс]. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/12/knu-reknu.-tehnologichni-truboprovody.zbirnyk-12.pdf> . Дата звернення 18.01.2023.
25. Техніка безпеки при проведенні монтажних робіт [Електронний ресурс]. URL: <http://www.otopleniedoma.com/ua/page26.html>. Дата звертання 29.12.2022.
25. Автоматизація процесу сушіння. URL: <https://studfile.net/preview/6860835/page:15/> . (Дата звернення 15.06.23р.).
26. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютер.-інтегр. технології. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с.
27. Кожухар, В. Я., Брем В. В., Каверін Ю. Ф. Автоматичні системи керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. для студ. хім.-технол. спец. Одеса: Екологія, 2005. 222 с.
28. Ультразвукові витратоміри для газів. URL: <http://carprice.kharkov.ua/vitratomir-povitrya/> (Дата звернення 15.06.23р.).
29. Трьохходові клапани для газів високої температури [Електронний ресурс]. URL: <https://teplogrand.ua/catalog/smesitelnye-klapany/> (Дата звернення 13.06.23р.).

30. Автоматичні пускачі TeSys. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range-presentation/625-tesys-gv2-me/#tabs-top> (Дата звернення 15.06.23р.).
31. Багатофункціональні компактні пристрої управління і захисту пускачі TeSys U до 38А (18,5 кВт/400В). URL : <https://www.se.com/ua/uk /product-range/682-tesys-ultra-tesys-u/> (Дата звернення 12.06.23р.).
32. Термопара WİKA модель TC81 для вимірювання температури газів, продуктів згоряння. URL : <https://celmet.com.ua/-wika/wika-tc81> (Дата звернення 15.06.23р.).
33. Терморегулятор вимірювач RT-0102-Щ1-1-ТО-ОС+1РЕ. URL : <https://ene rgo-shop.com/rt-0102-shch1-1-to-os1re-termorehuliator-vymiriuvach/> (дата звернення 15.06.23р.).
34. Манометри WİKA URL: https://www.wika.ua/111_10_111_12__ua_ua.WIKA?ProductGroup=81360 . (Дата звернення 15.06.23р.).
35. Шибер для вентиляції з заслінкою і електроприводом URL : <https://yak-zrobyty.in.ua/shiber-dlya-ventilyacii-z-zaslinkoyu-i-elektroprivodom-riznovidi-osoblivosti-montazhu> . (Дата звернення 15.06.23р.).
36. Промислові засоби автоматизації : навч. посіб.: У 2 ч. / За заг. ред. А. К. Бабіченка. Харків: НТУ «ХП», 2003. Ч. 1. Вимірювальні пристрої. 470 с.
37. Промислові засоби автоматизації : навч. посіб.: У 2 ч. / За заг. ред. А. К. Бабіченка. Харків: НТУ «ХП», 2003. Ч. 2. Регульовальні і виконавчі пристрої. 658 с.
38. Стенцель, Й. І. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв: навч. посіб. для студ. спец. «Автоматизація технол. процесів і виробництв» / ІСДО; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля; Сіверськодоонецький технологіч. ін-т. Київ: ІСДО, 1995. 360 с.
39. Дацишин О. В., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю. Рогач Ю. П. Механізація переробки і зберігання плодоовочевої продукції. Київ: Мета, 2003. 203 с.
40. Скрипников Ю. Г. Технологія переробки плодів і ягід. Київ: Урожай, 1991. 123 с.
41. Машини та обладнання переробних виробництв. За редакцією проф. Дацишина О. В. Київ: Вища освіта. 2005. 308 с.

42. Автоматизація виробничих процесів. Дифузійні процеси (обладнання для сушіння). Навч.-метод. посібн. [Електронний ресурс] / Укл. В. В. Тичков, В. Я. Гальченко, Р. В. Трембовецька, З. В. Бондарчук; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2018. 179 с.
43. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І. Ф. Малержика. Київ: НУХТ, 2003. 400с.
44. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малержика. Київ: НУХТ, 2012. 543 с.
45. Патент на винахід №85766 С2 Україна, МПК F26B11/00, F26B9/08. Барабанна сушарка / Дударев І.М., Кірчук Р.В., Кокалюк Л.Ю.; Заявлено 01.06.2007; Опубл. 25.02.2009; Бюл. № 4.
46. Krischer O. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Springer-Verlag. Berlin : Heidelberg GmbH, 1956. 302 p.
47. Sadegh Seiedlou. Convective Drying of Apple: Mathematical Modeling and Determination of some Quality Parameters / International Journal of Agriculture and Biology, March 2010. №12(2).
48. Kudra T. Energy aspects in drying// Drying Technology.– 2004. Vol. 22 (5). – P. 917 – 932 doi: 10.1081/DRT–120038572.
49. Снежкін Ю. Ф., Шапар Р.О. Енергоефективне обладнання для зневоднення термолабільних матеріалів. /Теплофізика та теплоенергетика. 2020, т. 42, №2. С. 5-17.
50. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 9. Металеві конструкції. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-metalevi-konstrucziyi.-zbirnyk-9.pdf>. (дата звернення 21.11.2023).
51. Спосіб сушіння матеріалів і камера для здійснення способу: А.с.32043 UA. МПК F 26 B 7/00/Файдюк Л.А. і ін. №98126651; Заявл.16.12.1998. Опубл. 15.12.2000, Бюл.№7, 3 с., 3 іл.
52. Сушильна шафа: А.с.13833 UA. МПК-5 Г26 В 9/06/Мельник І.Г. і ін. №52678319; Заявл. 25.08.1995. Опубл. 28.08.1997, Бюл.№2, 3с., 1 іл.
53. Сушильна шафа: А.с. 49170 UA. МПК-5 F 26 B 9/06/Співак О. Ю. і ін. №52968143; Заявл. 22.04.2000. Опубл. 12.05.2002, Бюл.№9 – 5 с., 2 іл.

54. Осокіна Н.М., Гайдай Г. С. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Умань. 2005.
55. Ставников В. М. Процеси і апарати харчових виробництв. Київ: Урожай, 1983. 345.
56. Лабай В. Й. Залежність ексергетичного ККД кондиціонера від зміни температур тепло- та холодоносіїв // Нова тема. 2008. № 2, С. 27–28.
57. Задоянний О. В. Ексергетичні критерії при оцінці енергоощадності систем кондиціонування повітря будівель і споруд // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. : КНУБА. 2014. Вип. 17. С. 3–9.
58. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва» Затверджені наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 01.11.2021 № 281 “Про затвердження кошторисних норм України у будівництві”. URL : <https://radnuk.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/knu-nastanova-z-vyznachenya-vartosti-budivnycztva.pdf> (дата звернення 06.12.2023).
58. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.
59. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об’єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
61. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.
62. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
63. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

64. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

65. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

65. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

66. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

68. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

69. Кодекс цивільного захисту України. К. : ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

ДОДАТКИ

Додаток А (обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Енергозбереження в камерних сушарках

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше
(вказати))

Підрозділ кафедра теплоенергетики, ФБЦЕІ, ТЕ-22м

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник Співак О.Ю., доцент

(прізвище, ініціали, посада)


Показники звіту подібності

Plagiat.pl (StrikePlagiarism)		Unicheck	
КП1		Оригінальність	84,8
КП2			
Тривога/Білі знаки	/	Схожість	15,2

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.


Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор 
(підпис)

Кримняк Я.М.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

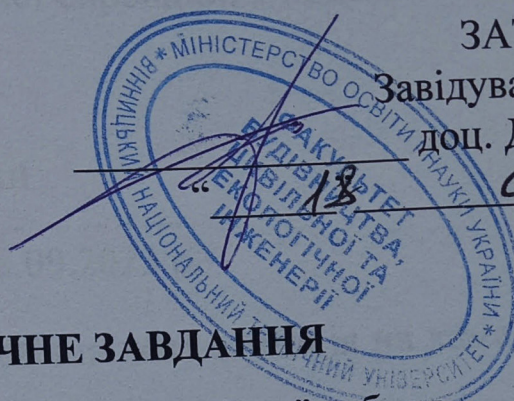
Допустити роботу до захисту

Особа, відповідальна за перевірку  Співак О.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт _____
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії



ЗАТВЕРДЖЕНО
Завідувач кафедри ТЕ
доц. Д. В. Степанов
09 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В КАМЕРНИХ СУШАРКАХ
за спеціальністю 144 – теплоенергетика

08-15.МКР.004.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи
к.т.н. Співак О. Ю.
"18" 09 2023 р.

Розробив студент гр. ТЕ-22м
Кримняк Я.М.
"18" 09 2023 р.

1 Найменування та область застосування розробки

Розробка та модернізація джерел теплоти сушильних комплексів для сушіння сільськогосподарської сировини. Розробка стосується проблем енергозбереження при сушінні сільськогосподарської сировини, з подальшим використанням в різних галузях.

2 Основа для проведення розробки

Наказ ректора ВНТУ №247 від 18.09.2023 р.

Основою для розробки стала технічна документація на камерну конвективну сушарку «КТУ-11». Розрахунки по підвищенню енергоефективності сушильних установок. Літературні джерела, патентна документація та розробки кафедри ТЕ ВНТУ. Тематичний план науково-дослідних робіт кафедри теплоенергетики, протокол №12 від 25.01.2023 р.

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є покращення енергозбереження при роботі сушарок камерного типу на підставі ексергетичного аналізу теплового балансу конвективної 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. посібн.: Вінниця : ВНТУ. 2008. 98 с.
- 3.2 Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі. Навч. посібн.: Вінниця : ВНТУ, 2013. 112 с.
- 3.3 Патент України. Сушильна шафа. U200704163. 16.04.2007. F26.B9/06. №29962, опубл. 11.02.2008. бюл.№3.
- 3.4. Патент України. Пристрій для сушіння. U200387725. 14.08.2003. F26B9/06. №71120A, опубл. 15.11.2004. бюл. №11.
- 3.5 Патент України. Пристрій для сушіння. U200608145. 20.07.2006. F26B9/06. №20276, опубл. 15.01.2007. бюл. №1.
- 3.6 Патент України. Сушильна камера. U190041958. – 07.04.1999. F26B9/06. – №32327, опубл. 15.12.2000. бюл. №7(II).
- 3.7 Патент України. Сушильна шафа. U2001031697. 13.03.2001. F26B9/06.

4 Технічні вимоги

Складання ексергетичного балансу сушильної камери. Розроблення математичної моделі ексергетичного балансу. Визначення теплофізичних параметрів теплоносія на всіх етапах проведення числових досліджень, витрати теплоносія і теплоти для основного технологічного процесу. Вплив окремих складових ексергетичного балансу на ексергетичний ККД сушарки. Порівняння ексергетичного і енергетичного ККД. Схематичне зображення сушарки на плакатах, графіки залежностей впливу різних складових ексергетичного балансу основні характеристики сушарки і вартість сушіння. Дотримання стандартів щодо виготовлення готової продукції та її якості.

5 Економічні показники

На сьогоднішній день більша частина готової сушеної продукції має низьку якість, або високу ціну, що пов'язано з високою вартістю теплоносіїв, що застосовуються в сушильній техніці.

В даній роботі проводиться: дослідження можливості і економічної доцільності використання різних видів теплогенеруючого устаткування для роботи камерних сушарок; побудова математичної моделі для розрахунку характеристик сушарок і дослідження впливу окремих складових ексергетичного балансу на коефіцієнт корисної дії сушильного обладнання .

6 Заходи з енергозбереження

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

Автоматичне регулювання основних параметрів роботи сушильної камери «КТУ-11».

Використання сучасного обладнання, що дозволяє значно зменшити теплові втрати.

7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Магістерська кваліфікаційна робота виконується згідно ДСТУ та нормативної документації, яка діє в Україні. Всі креслення, плани та схеми виконуються на листах формату А3. Деталі обладнання вибираються стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

8 Вимоги з надійності

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

9 Стадії і етапи розробки

9.1 Науково-аналітичний огляд літературних та патентних джерел

9.2 Розробка математичної моделі сушарки. Аналітичні і числові дослідження

9.3 Обробка отриманих результатів

9.4 Модернізація схеми автоматизації сушарки

9.5 Технологія монтажу обладнання для модернізації

9.6 Охорона праці

9.7 Економічна оцінка інноваційного проекту

9.8 Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу

10 Порядок контролю та прийняття магістерської кваліфікаційної роботи

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

Прийняття роботи здійснюється ЕК затвердженою ректором університету згідно з графіком захисту.

Коректування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

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

Додаток В
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА
В СУШАРКАХ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)

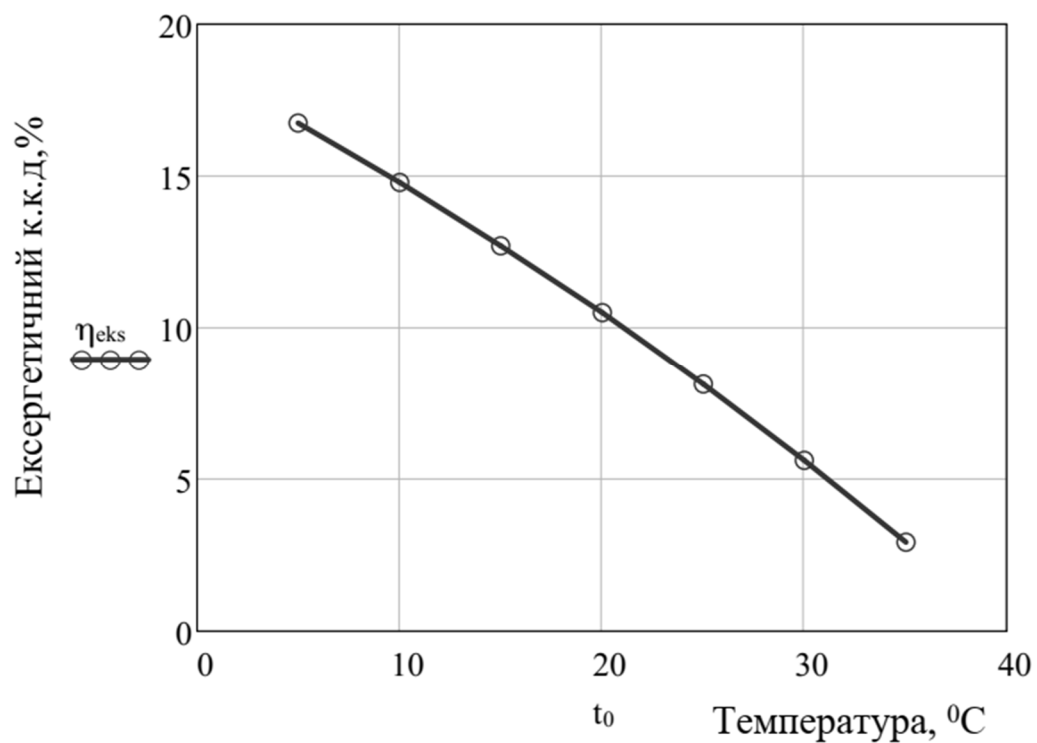


Рисунок В.1 – Зміна ексергетичного ККД від температури навколишнього середовища

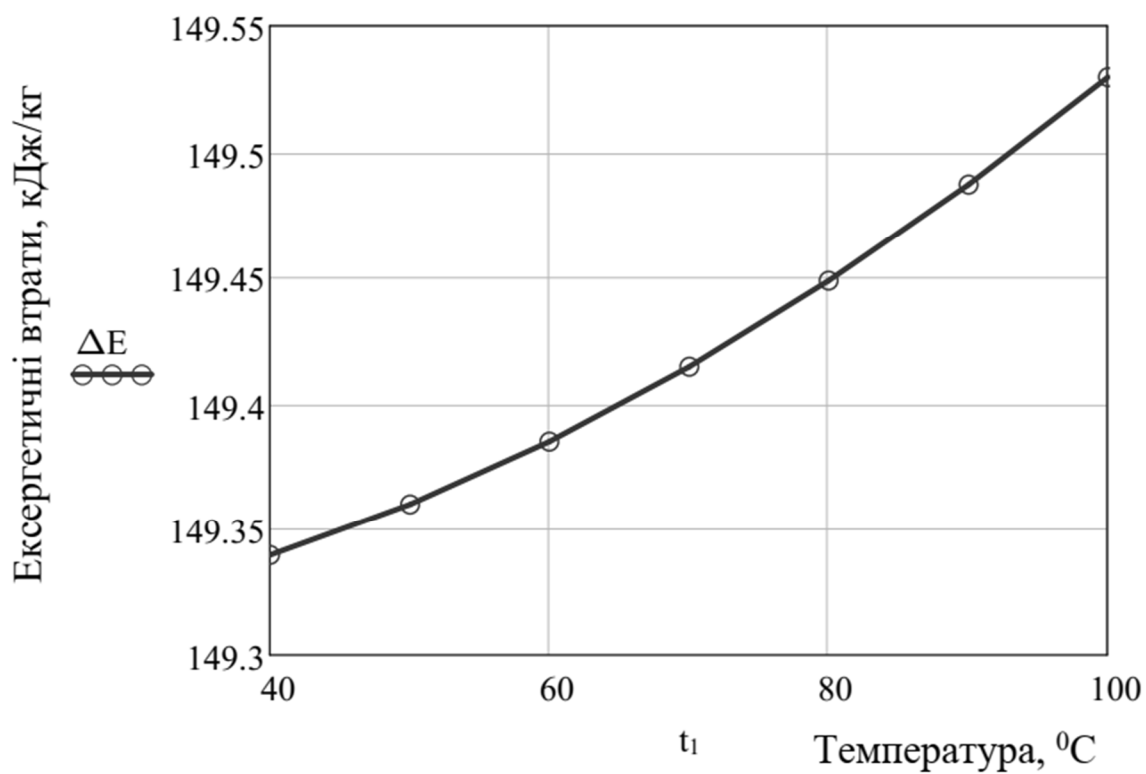


Рисунок В.2 – Зміна втрат ексергії зі зростанням температури теплоносія

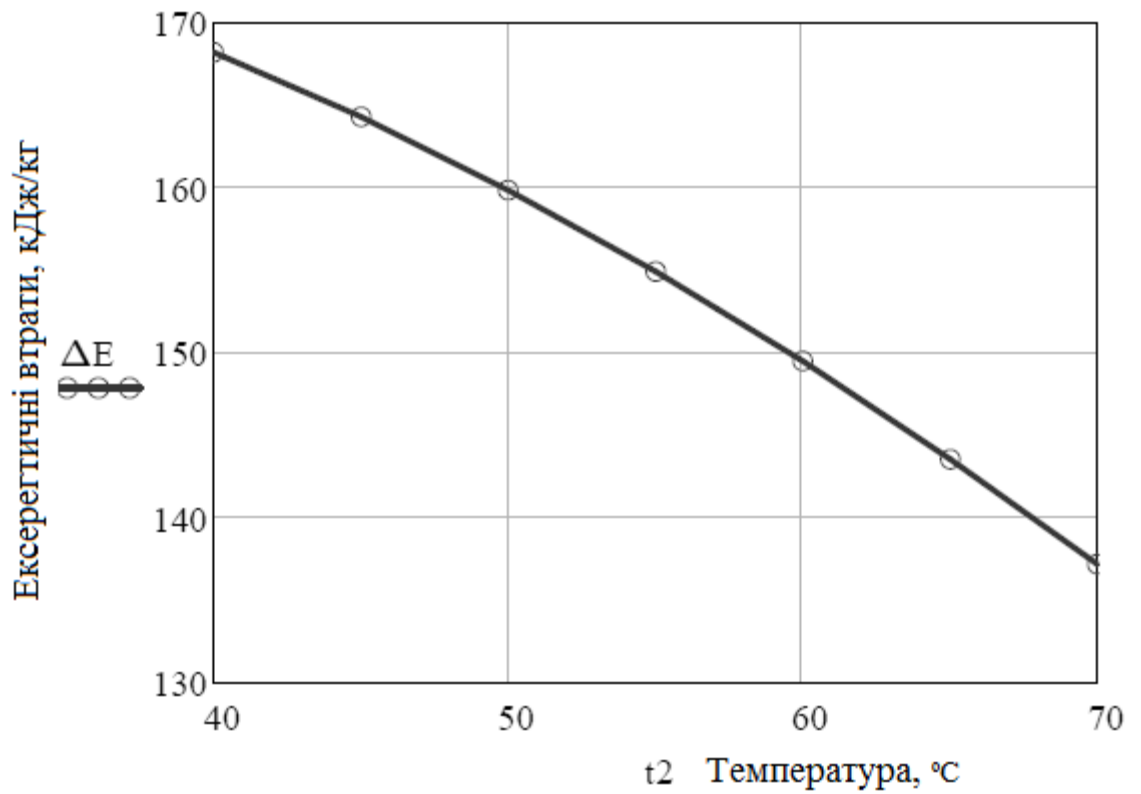


Рисунок В.3 – Зміна ексергетичних втрат із зростанням температури відпрацьованого теплоносія

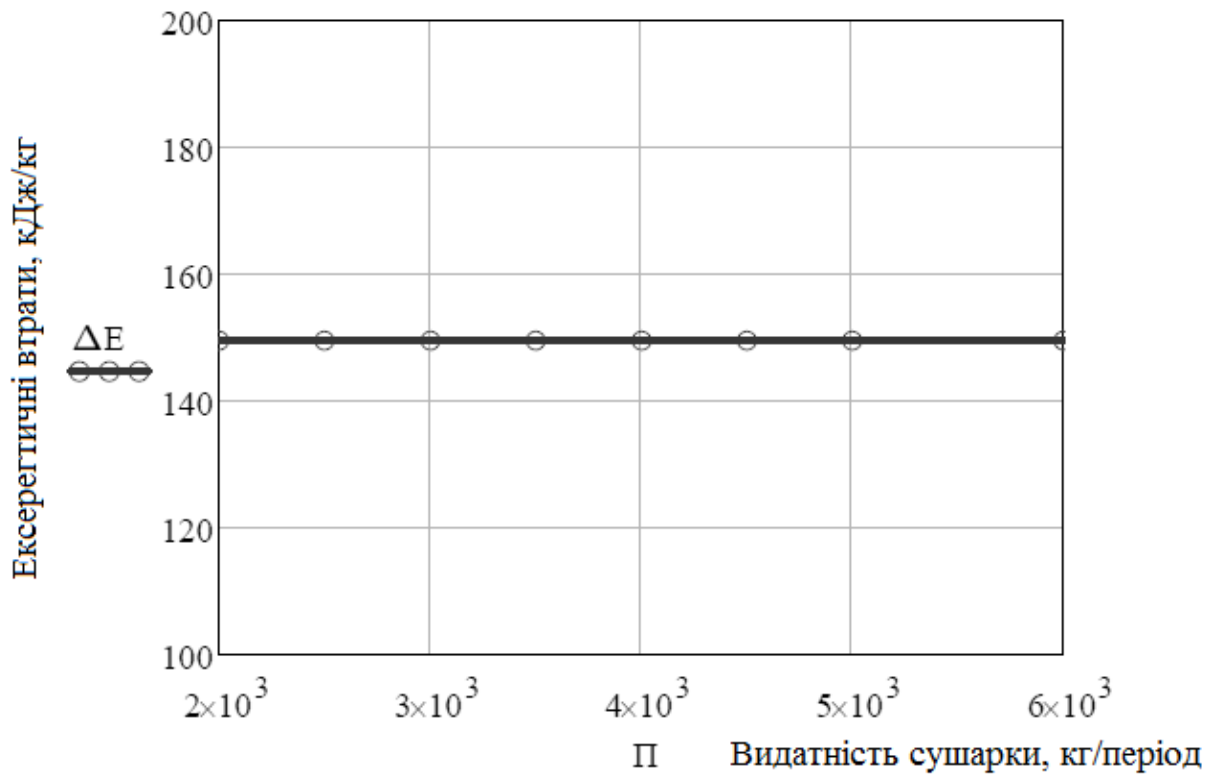


Рисунок В.4 – Вплив видатності сушарки на загальні втрати ексергії

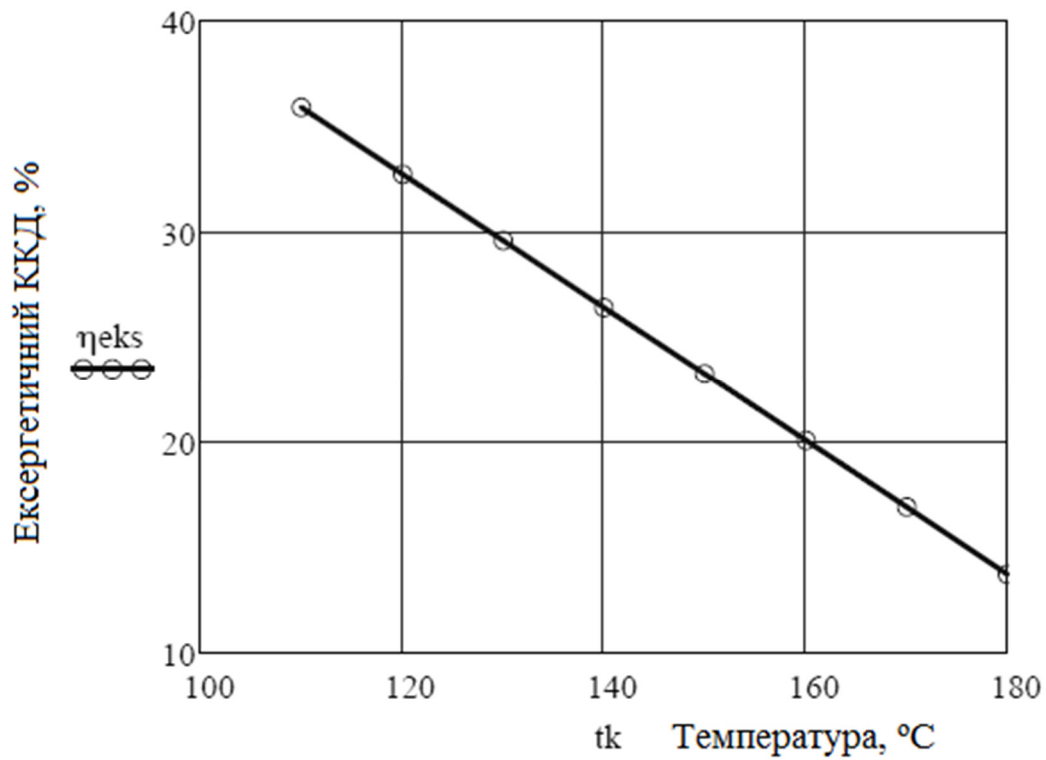


Рисунок В.5 – Вплив температури конденсату пари на ексергетичний ККД

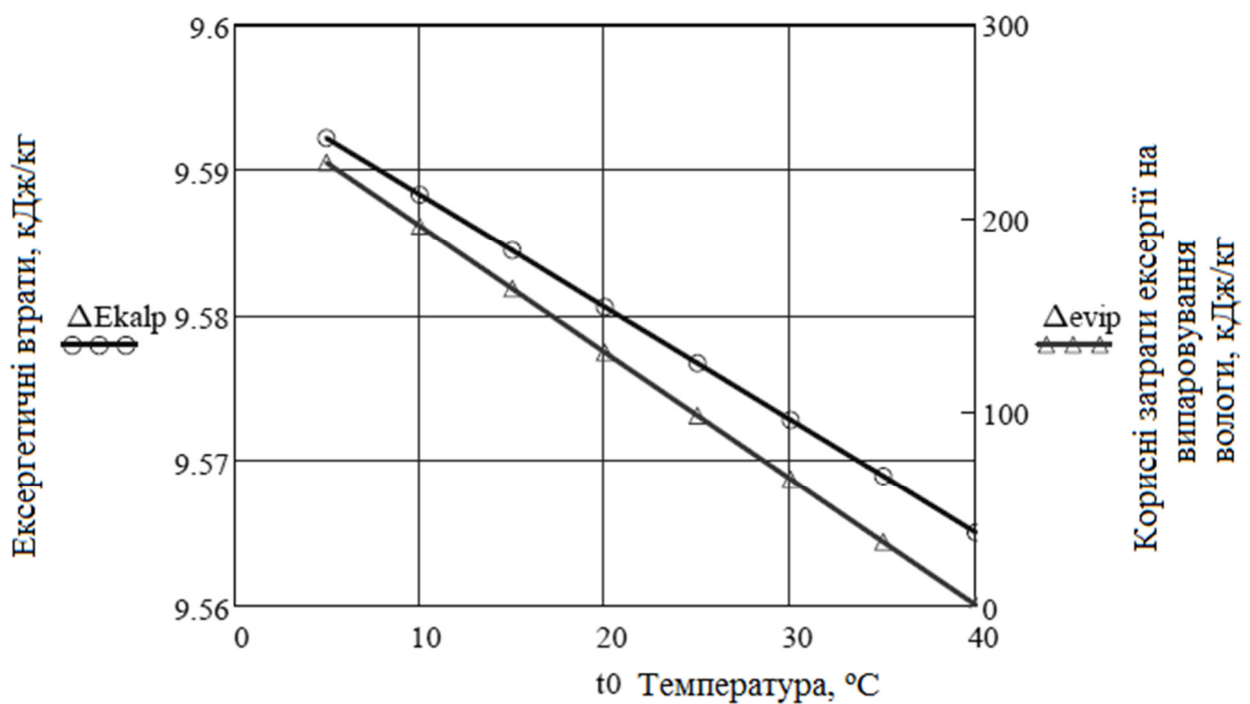


Рисунок В.6 – Вплив початкової температури повітря на ексергетичні втрати в калорифері та на корисні затрати ексергії

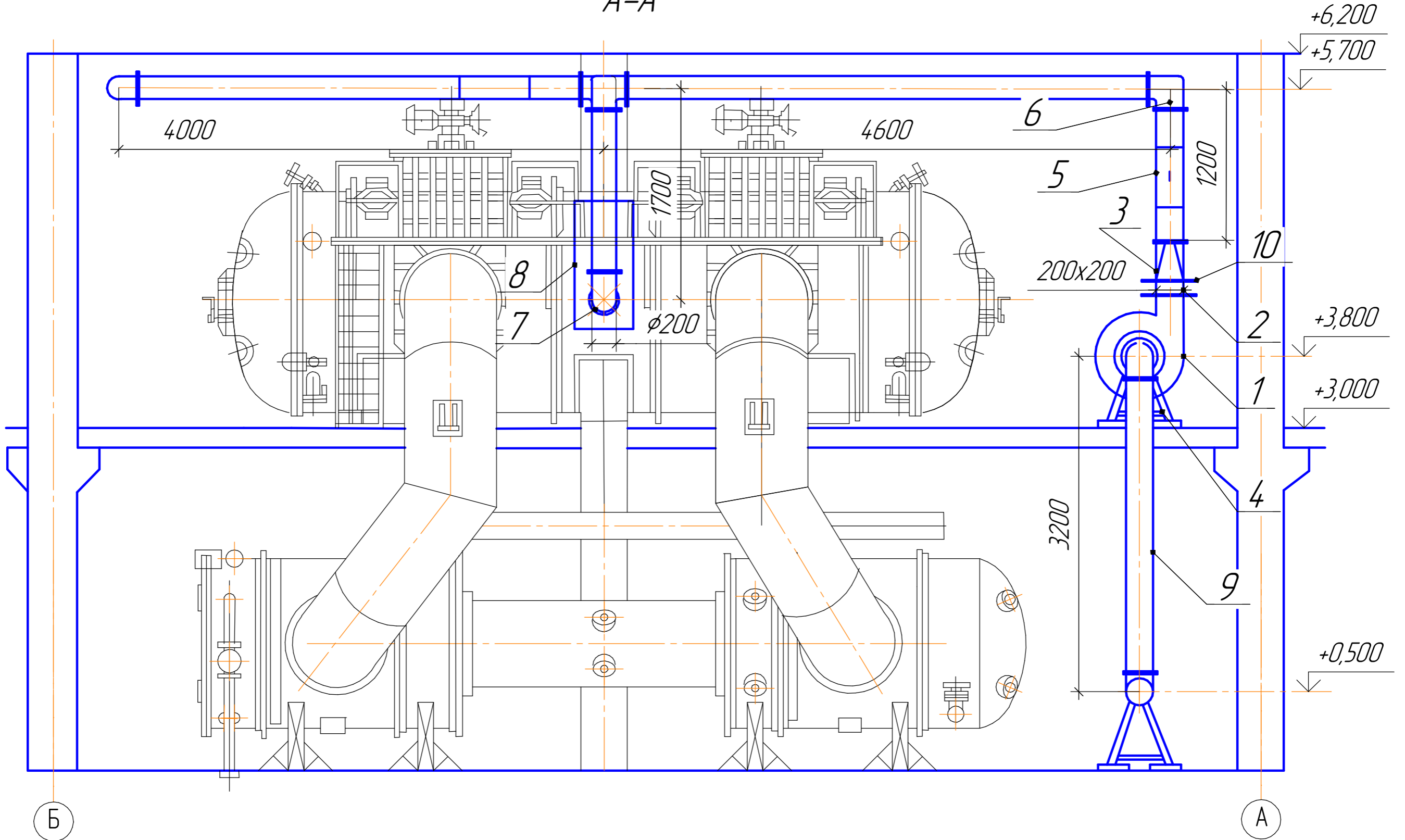
Поз. озна- чение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Перелік елементів</i>			
1	<i>Вентилятор відцентровий</i>	1	
2	<i>Антивібраційна вставка 200x200</i>	1	
3	<i>Перехід 200x200-φ200</i>	1	
4	<i>Опора</i>	2	
5	<i>Шибер φ200</i>	2	
6	<i>Відвід 90x200</i>	8	
7	<i>Фланець приварний φ200</i>	4	
8	<i>Оредрений ТА</i>	1	
9	<i>Газоход сталевий φ200</i>	17,5	<i>метрів</i>
10	<i>Фланець приварний 200X200</i>	2	

Підп. і дата	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.

08-15.МКР.004.01.00.000

Ізм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	<i>Сушарка КТУ-11</i>		
Разраб.	Кримняк Я.М.						
Пров.	Співак О.Ю.				Лит.	Лист	Листов
Опонент	Христинч О.В.						
Н.контр.	Співак О.Ю.				<i>ВНТУ ТЕ-22М</i>		
Утв.	Степанов Д.В.						

A-A



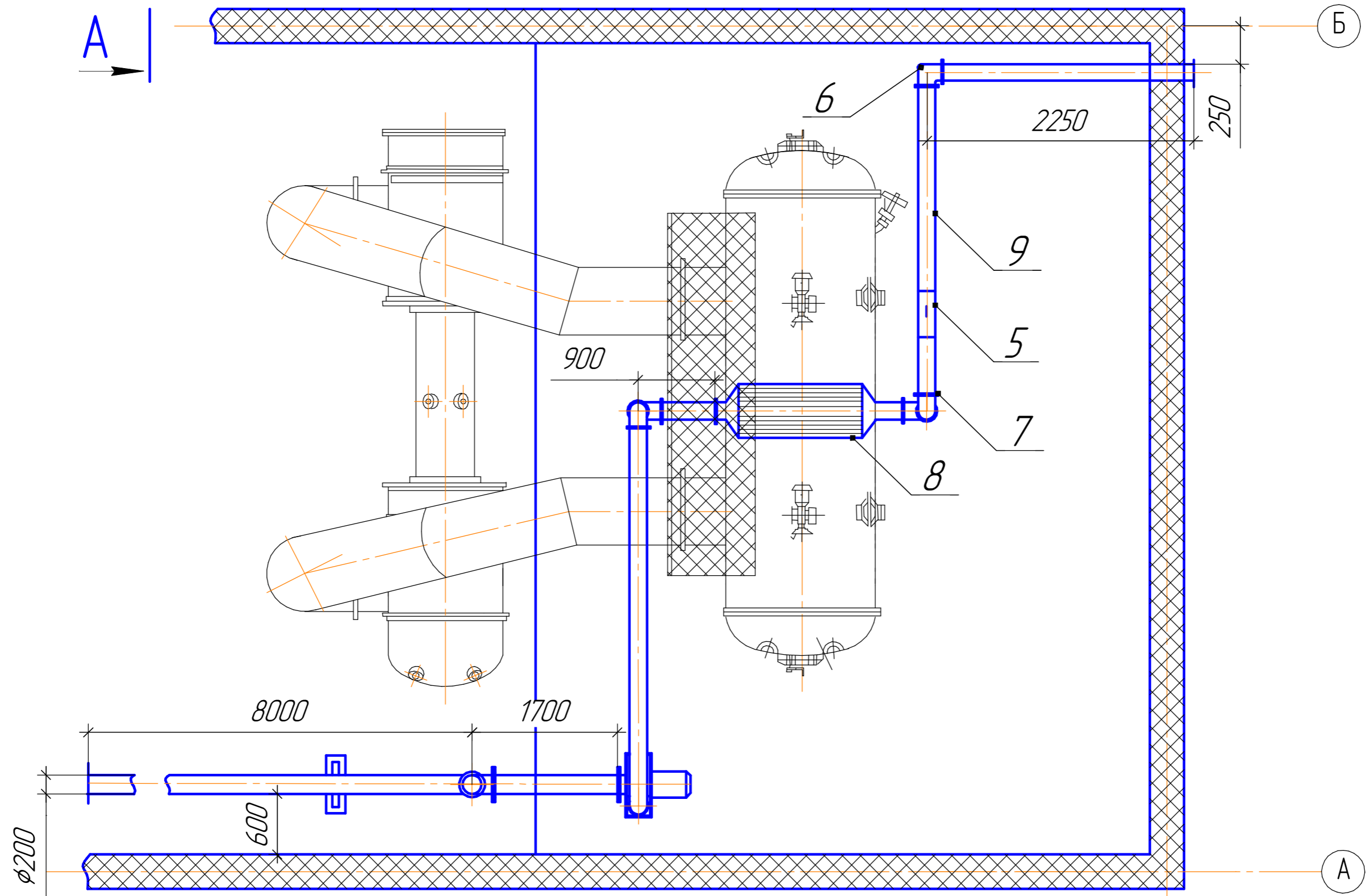
Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

						08-15.МКР.004.01.00.000 АР			
						м. Вінниця			
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Енергозбереження в камерних сушарках	Стадія	Лист	Листов
Разраб.	Кримняк Я.М.								1
Пров.	Слівак О.Ю.								
Т.контр.	Слівак О.Ю.								
Опонент	Христинч О.В.								
Н.контр.	Слівак О.Ю.					Сушарка КТУ-11	ВНТУ ТЕ-22М		
Утв.	Степанов Д.В.								



Согласовано

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.		Кримняк Я.М.			
Проб.		Слівак О.Ю.			
Т.контр.		Слівак О.Ю.			
Опонент		Христич О.В.			
Н.контр.		Слівак О.Ю.			
Утв.		Степанов Д.В.			

08-15.МКР.004.02.00.000 АР

м. Вінниця

Енергозбереження в камерних сушарках

План будівлі

Стадія	Лист	Листов
		1

ВНТУ ТЕ-22М

Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
Справ. №	1	Вентилятор відцентровий	1	
	2	Антивібраційна вставка 200x200	1	
	3	Перехід 200x200-φ200	1	
	4	Шибер φ200	2	
	5	Фланець приварний φ200	2	
	6	Відвід 90x200	8	
	7	Оребреній ТА	1	
	8	Газоход сталевий φ200	17,5	метрів
	9	Фланець приварний 200X200	2	
Подп. и дата	Инв. №	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.

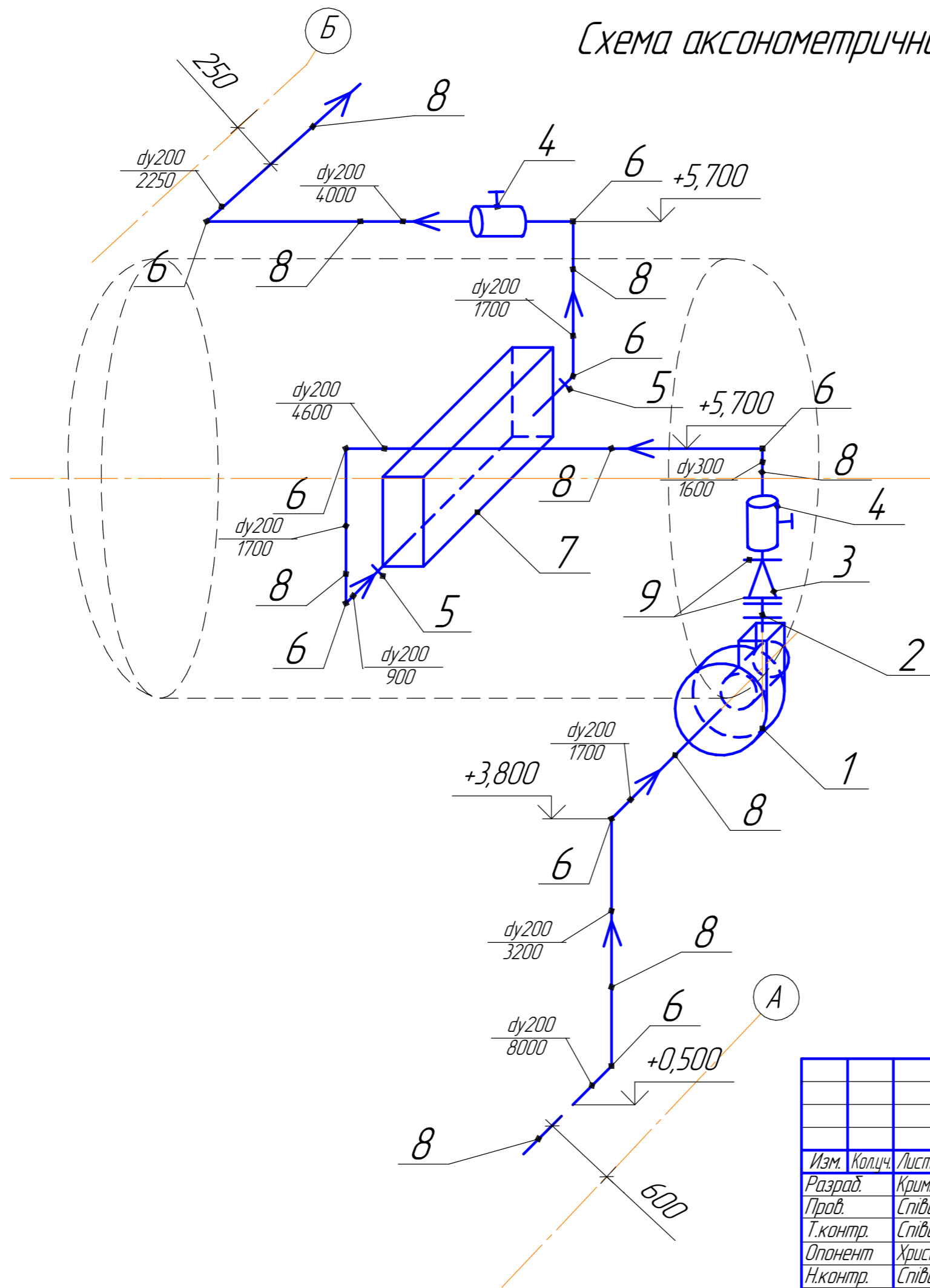
08-15.МКР.004.03.00.000

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кримняк Я.М.		
Пров.		Співак О.Ю.		
Опонент		Христинч О.В.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

Схема
аксонометрична

Лит.	Лист	Листов
ВНТУ ТЕ-22М		

Схема аксонометрична



Согласовано

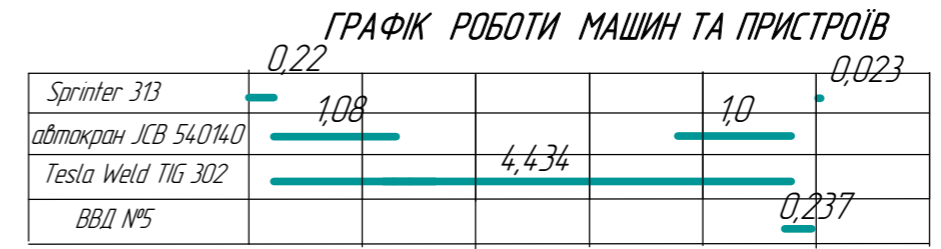
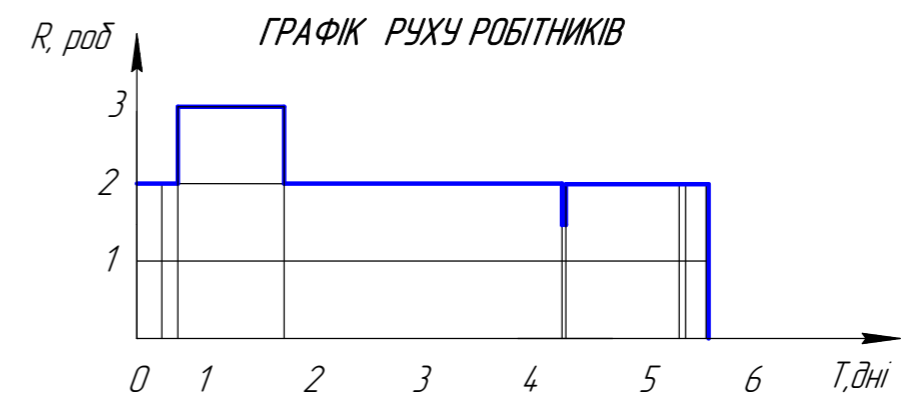
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

08-15.МКР.004.03.00.000 АР					
м. Вінниця					
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.			Кримняк Я.М.		
Проб.			Слівак О.Ю.		
Т.контр.			Слівак О.Ю.		
Опонент			Христич О.В.		
Н.контр.			Слівак О.Ю.		
Утв.			Степанов Д.В.		
Енергозбереження в камерних сушарках				Стадія	Лист
Схема аксонометрична				ВНТУ ТЕ-22М	

	Найменування робіт	Одиниці вимір.	Об'єми	Норма часу, люд/год	Трудо-місткість	Склад бригад	Кількість чоловік	Тривалість	Травень					
									Пт	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт
									1	4	5	6	7	8
1	Доставлення деталей до місць монтажу та їх складування	т	0,861	3,1	0,23	Робітник, водій	2	0,12	2x0,12					
2	Встановлення несучої конструкції	т	0,084	27,36	0,287	Монтажник 3 розряду	2	0,14	2x0,14					
3	Монтаж теплообмінника	шт.	1	22,64	2,87	Монтажник 4, 6 розрядів	3	0,94	3x0,94					
4	Прокладання газопроводів діаметром Ду 200 мм	100 м	0,017	231,2	4,9	Слюсар-вент 2, 3 розрядів	2	2,45	2x2,45					
5	Встановлення запірної арматури Ду 200	100 шт	0,02	12	0,03	Слюсар сант. 4 р.	1	0,03	1x0,03					
6	Монтаж вентилятора	шт	1	15,91	1,99	Монтажник 3 р	2	1,0	2x1,0					
7	Перше робоче випробування системи циркуляції	100 м	0,175	5,4	0,044	Слюсар-вент 5, 3 розрядів	2	0,057	2x0,057					
8	Перша перевірка системи в цілому	шт	1	2,9	0,3625	Слюсар-вент 5, 3 розрядів	2	0,18	2x0,18					
9	Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,075	3,1	0,23	Робітник, водій	2	0,116	2x0,116					

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ

№	Позначення	Формула	Результат	Од.виміру
1	$Q_{зоз.}$	Q_i	13,454	люд/дні
2	$T_{зоз.}$	-	5,04	дні
3	R_{max}	-	3	люд
4	$R_{сер}$	$Q_{зоз.}/T_{зоз.}$	2,67	люд
5	$T_{вст.}$	-	4,2	дні
6	\pm_1	$R_{сер}/R_{max}$	0,89	-
7	\pm_2	$T_{вст.}/T_{зоз.}$	0,83	-



08-15.МКР.004.04.00.000 АР

м. Вінниця

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Енергозбереження в камерних сушарках	Стадія	Лист	Листов
Розробив	Кримняк Я.М.								1
Перевірив	Слівак О.Ю.					Календарний план монтажних робіт	ВНТУ ТЕ-22М		
Т. Контр.	Слівак О.Ю.								
Опонент	Христич О.В.								
Н.Контр.	Слівак О.Ю.								
Утв.	Степанов Д.В.								

Соголасовано
 Взам. інв. №
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
A3			13-1,10-1,11-1	Витратомір Hot Wire MAF	3	
A3			2-1,3-1,8-1,10-1,9-1,6-1,7-1,4-1,5-1	Термометр РТ-0102	9	
A3			12-1	Датчик тиску ОПТИМА 0-1	1	
A3			15-1, 16-1, 17-1	Вентилятор	3	
A3			14-1,18-1,24-1	Шибєр з електроприводом	3	
A3			19-1	Двигун генератор	1	
A3			20-1	Компресор	1	
				Звуковий сигналізатор	1	
				Світловий сигналізатор	1	
A1						
A1						
A1						
A1						

Справ. №

08-15.МКР.003.05.00.000

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Кримняк Я.М.		
Перев.		Співак О.Ю.		
Опонент		Христинч О.В.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Затверд.		Степанов Д.В.		

Схема автоматизації
функціональна

Лист.	Арк.	Арк.
ВНТУ ТЕ-22М		

08-15.МКР.004.05.00.000 АЗ

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

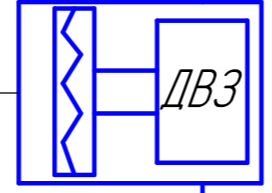
Подп. и дата

Инв. № подл.

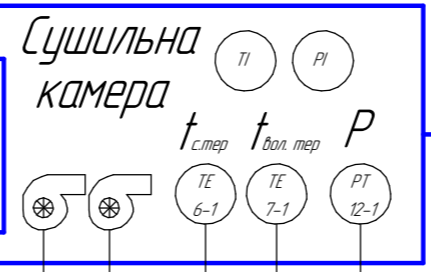
Холодоагент

Компрессор

Холодоагент



Конденсатор



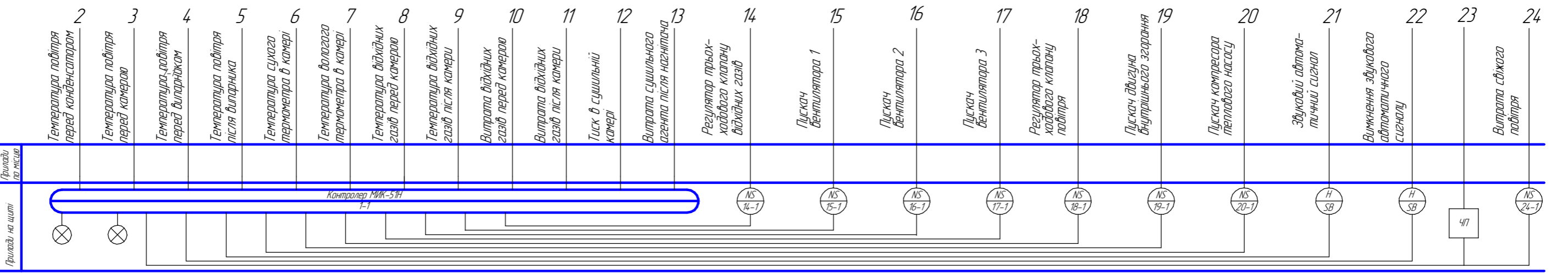
Випарник

Повітря

Повітря

Повітря

23 17 13 2 3 18 19 14 10 11 9 15 16 6 7 12 8 4 20 5 24



08-15.МКР.004.05.00.000 АЗ

Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Кримняк Я.М.		
Пров.	Співак О.Ю.		
Т.контр.	Співак О.Ю.		
Опонент	Христич О.В.		
Н.контр.	Співак О.Ю.		
Утв.	Степанов Д.В.		

Схема
автоматизації функціональна

Лист	Масса	Масштаб
Лист	Листов	1

ВНТУ ТЕ-22М

Копировал

Формат АЗ

Додаток Г
(довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

Розрахунок ексергетичних параметрів камерної сушарки

ORIGIN := 0

Вихідні дані

Продуктивність по випаруваній волозі W, кг/ч

W := 412.8

Вологість матеріалу, %:

- початкова ω_1

$\omega_1 := 85$

- кінцева ω_2

$\omega_2 := 16$

Температура теплоносія, °C:

- на вході в сушильну камеру t1

t1 := 90

- на виході из сушильної камери t2

t2 := 70

Температура матеріалу, °C:

- на вході в сушильну камеру t2

$\theta_1 := 28.5$

- на виході із камери θ_2

$\theta_2 := 55$

Витрата теплоносія

L := 3104

Видагність сушарки за сухим матеріалом

$G_m := \frac{5000}{10 \cdot 3600} = 0.139 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

Теплоємність матеріалу

cm := 2.4

Питома теплоємність висушеного матеріалу, кДж/(кг·К)

Параметри повітря:

- вологовміст d_0 , кг/кг

$d_0 := 0.005$

- відносна вологість φ_0 , %

$\varphi_0 := 75$

- температура t_0 , °C

- тиск p_0 , Па

$p_0 := 105000$

$t_0 := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \end{pmatrix}$

Потужність конденсатора та ТА

Витрати теплоти:

- на випаровування води

- на нагрів матеріалу

- втрати теплоти через теплову ізоляцію

та трубопроводи

- інші втрати

$$Q_k := 2820.3 \quad Q_k\% := 100$$

$$Q_b := 2180.2 \quad Q_b\% := 77.3$$

$$Q_m := 402.9 \quad Q_m\% := 14.3$$

$$Q_i := 122.1 \quad Q_i\% := 4.33$$

$$Q_5 := 103.6 \quad Q_5\% := 4.07$$

$$T_0 := t_0 + 273 \quad T_1 := t_1 + 273 \quad T_2 := t_2 + 273$$

$$T_0 = \begin{pmatrix} 278 \\ 283 \\ 288 \\ 293 \\ 298 \\ 303 \\ 308 \end{pmatrix} \quad T_1 = 363 \quad T_2 = 343$$

Вважаємо, що сушарка обігривається перегрітою парою з параметрами

абсолютний тиск

$$p_n := 0.9$$

ентальпія пари

$$h_n := 2780$$

ентальпія конденсату

$$h_k := 740$$

ентропія пари

$$s_n := 6.62$$

ентропія конденсату

$$s_k := 2.095$$

витрата пари

$$G_n := 0.2$$

Екс. пари в калорифері

$$E_n := G_n \cdot [h_n - h_k - T_0 \cdot (s_n - s_k)]$$

$$E_n = \begin{pmatrix} 156.41 \\ 151.885 \\ 147.36 \\ 142.835 \\ 138.31 \\ 133.785 \\ 129.26 \end{pmatrix}$$

Питома ексергія пари

$$enn := 3600 \cdot \frac{En}{W}$$

Теплоємність повітря $c_{\text{wv}} := 1.005$

$$enn = \begin{pmatrix} 1.364 \times 10^3 \\ 1.325 \times 10^3 \\ 1.285 \times 10^3 \\ 1.246 \times 10^3 \\ 1.206 \times 10^3 \\ 1.167 \times 10^3 \\ 1.127 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Парціальний тиск пари на взоді в сушильну зону

$$Pn1 := \frac{p0 \cdot d0}{d0 + 0.622} \quad Pn1 = 837.321$$

Парціальний тиск сухого повітря

$$Pc1 := p0 - Pn1 = 1.042 \times 10^5$$

Ентальпію та ентропію пари визначаємо за таблицями

$t0 = \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \end{pmatrix}$	$Pn1 = 837.321$	$hn0 := 2519$	$sn0 := 8.99$	
	$t1 = 90$	$Pn1 = 837.321$	$hn1 := 2650$	$sn1 := 9.41$

Питома ексергія повітря на вході в робочу камеру

$$e1ca := c \cdot (t1 - t0) - T0 \cdot \left(c \cdot \ln \left(\frac{T1}{T0} \right) - 0 \right) + d0 \cdot [hn1 - hn0 - T0 \cdot (sn1 - sn0)]$$

$$e1ca = \begin{pmatrix} -354.886 \\ -359.922 \\ -364.957 \\ -369.993 \\ -375.028 \\ -380.064 \\ -385.099 \end{pmatrix}$$

Повна

$$E_{lca} := L \cdot e_{lca} = \begin{pmatrix} -1.102 \times 10^6 \\ -1.117 \times 10^6 \\ -1.133 \times 10^6 \\ -1.148 \times 10^6 \\ -1.164 \times 10^6 \\ -1.18 \times 10^6 \\ -1.195 \times 10^6 \end{pmatrix}$$

Питома ексергія теплоносія на вході в робочу камеру

$$e_{lcap} := \frac{E_{lca}}{W} = \begin{pmatrix} -2.669 \times 10^3 \\ -2.706 \times 10^3 \\ -2.744 \times 10^3 \\ -2.782 \times 10^3 \\ -2.82 \times 10^3 \\ -2.858 \times 10^3 \\ -2.896 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Втрати ексергії в калорифері

$$\Delta E_{kal} := e_{nn} - e_{lcap} = \begin{pmatrix} 4.033 \times 10^3 \\ 4.031 \times 10^3 \\ 4.029 \times 10^3 \\ 4.028 \times 10^3 \\ 4.026 \times 10^3 \\ 4.025 \times 10^3 \\ 4.023 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$\Delta E_{kalp} := \frac{\Delta E_{kal}}{W} = \begin{pmatrix} 9.769 \\ 9.765 \\ 9.761 \\ 9.757 \\ 9.753 \\ 9.749 \\ 9.746 \end{pmatrix}$$

Параметри пари на виході з робочої камери

$$t_2 = 70$$

$$P_{n1} = 837.321$$

$$h_{n2} := 2613$$

$$s_{n2} := 9.3$$

Питома ексергія теплоносія на виході з робочої камери

$$e_{2ca} := c \cdot (t_2 - t_0) - T_0 \cdot \left(c \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_0} \right) - 0 \right) + d_0 \cdot [h_{n2} - h_{n0} - T_0 \cdot (s_{n2} - s_{n0})]$$

$$e_{2ca} = \begin{pmatrix} -258.202 \\ -263.235 \\ -268.267 \\ -273.3 \\ -278.333 \\ -283.366 \\ -288.398 \end{pmatrix}$$

Повна ексергія теплоносія на виході з робочої камери

$$E_{2ca} := L \cdot e_{2ca} = \begin{pmatrix} -8.015 \times 10^5 \\ -8.171 \times 10^5 \\ -8.327 \times 10^5 \\ -8.483 \times 10^5 \\ -8.639 \times 10^5 \\ -8.796 \times 10^5 \\ -8.952 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

$$e_{2cap} := \frac{E_{2ca}}{W} = \begin{pmatrix} -1.942 \times 10^3 \\ -1.979 \times 10^3 \\ -2.017 \times 10^3 \\ -2.055 \times 10^3 \\ -2.093 \times 10^3 \\ -2.131 \times 10^3 \\ -2.169 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Втрати ексергії в робочій камері

$$\Delta E_{2ca} := E_{2ca} - e_{2cap} = \begin{pmatrix} -7.995 \times 10^5 \\ -8.151 \times 10^5 \\ -8.307 \times 10^5 \\ -8.463 \times 10^5 \\ -8.619 \times 10^5 \\ -8.774 \times 10^5 \\ -8.93 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

$$\Delta E_{2cap} := \frac{\Delta E_{2ca}}{W} = \begin{pmatrix} -1.937 \times 10^3 \\ -1.975 \times 10^3 \\ -2.012 \times 10^3 \\ -2.05 \times 10^3 \\ -2.088 \times 10^3 \\ -2.126 \times 10^3 \\ -2.163 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Теплоємність води $cv := 4.19$
Ентропія конденсату $sk1 := 0.103$

Ексергія на випаровування вологи

$$\Delta E_{vip} := h_n - h_k - T_0 \cdot (s_n - sk1) = \begin{pmatrix} 228.274 \\ 195.689 \\ 163.104 \\ 130.519 \\ 97.934 \\ 65.349 \\ 32.764 \end{pmatrix} \quad \Delta E_{vipp} := \Delta E_{vip}$$

$$\Delta E_{vn1} := cv \cdot (50 - t_0) - T_0 \cdot cv \cdot \ln\left(\frac{273 + 50}{T_0}\right) = \begin{pmatrix} -644.154 \\ -665.104 \\ -686.054 \\ -707.004 \\ -727.954 \\ -748.904 \\ -769.854 \end{pmatrix}$$

Ексергія на нагрівання вологи в матеріалі

до температури мокрого термометра

$$\Delta E_{vn2} := h_n - h_{n2} - 5.3 T_0 \cdot (s_{n1} - s_{n2}) = \begin{pmatrix} 4.926 \\ 2.011 \\ -0.904 \\ -3.819 \\ -6.734 \\ -9.649 \\ -12.564 \end{pmatrix}$$

на перегрів вологи

$$\Delta E_{vn} := \Delta E_{vn1} + \Delta E_{vn2} = \begin{pmatrix} -639.228 \\ -663.093 \\ -686.958 \\ -710.823 \\ -734.688 \\ -758.553 \\ -782.418 \end{pmatrix}$$

Загальна ексергія на нагрівання матеріалу

$$\Delta E_m := G_m \cdot \left[c_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) - t_0 \cdot c_m \cdot \ln\left(\frac{\theta_2}{\theta_1}\right) \right] = \begin{pmatrix} 7.738 \\ 6.642 \\ 5.546 \\ 4.45 \\ 3.355 \\ 2.259 \\ 1.163 \end{pmatrix}$$

$$\Delta E_{mp} := \frac{\Delta E_m}{W} = \begin{pmatrix} 0.019 \\ 0.016 \\ 0.013 \\ 0.011 \\ 8.127 \times 10^{-3} \\ 5.472 \times 10^{-3} \\ 2.818 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad q := \frac{10 \cdot Q_i}{W} = 2.958$$

Середня температура в сушарці

Втрати в оточуюче середовище

$$\Delta E_{oc} := q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{cp}} \right) = \begin{pmatrix} 0.31 \\ 0.283 \\ 0.258 \\ 0.233 \\ 0.208 \\ 0.183 \\ 0.159 \end{pmatrix} \quad T_{cp} := \frac{T_0 + T_2}{2} = \begin{pmatrix} 310.5 \\ 313 \\ 315.5 \\ 318 \\ 320.5 \\ 323 \\ 325.5 \end{pmatrix} \text{ K}$$

Невраховані втрати ексергії

$$\Delta E := \Delta E_{vipp} - (\Delta E_{oc} + \Delta E_{mp} + \Delta E_{vn} + \Delta E_{2cap}) = \begin{pmatrix} 2.804 \times 10^3 \\ 2.833 \times 10^3 \\ 2.862 \times 10^3 \\ 2.891 \times 10^3 \\ 2.92 \times 10^3 \\ 2.949 \times 10^3 \\ 2.978 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Ексергетичний к.к.д

$$\Delta E_{sum} := enn$$

$$\eta_{eks} := \frac{\Delta E_{vipp}}{\Delta E_{sum}} = \begin{pmatrix} 0.167 \\ 0.148 \\ 0.127 \\ 0.105 \\ 0.081 \\ 0.056 \\ 0.029 \end{pmatrix} \quad \eta_{eks} := \left(\frac{\Delta E_{vipp}}{enn} \right) \cdot 100 = \begin{pmatrix} 16.735 \\ 14.774 \\ 12.692 \\ 10.478 \\ 8.119 \\ 5.601 \\ 2.906 \end{pmatrix} \%$$

Розрахунок теплових параметрів камерної сушарки

ORIGIN := 0

Вихідні дані

Продуктивність по випаруваній волозі W, кг/ч

W := 412.8

Вологість матеріалу, %:

- початкова ω_1

$$\omega_1 := 85$$

- кінцева ω_2

$$\omega_2 := 16$$

Температура теплоносія, °C:

- на вході в сушильну камеру t_1

$$t_1 := 90$$

- на виході из сушильної камери t_2

Температура матеріалу, °C:

- на вході в сушильну камеру t_2

$$\theta_1 := 28.5$$

$$\theta_2 := 55$$

$$t_0 := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \end{pmatrix} \quad P_{R0} := \begin{pmatrix} 0.873 \\ 1.228 \\ 1.706 \\ 2.339 \\ 3.17 \\ 4.248 \\ 5.629 \end{pmatrix}$$

Витрата теплоносія $L := 3104$

Видагність сушарки за сухим матеріалом

$$G_m := \frac{5000}{10 \cdot 3600} = 0.139 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Теплоємність матеріалу

$$c_m := 2.4$$

$$t_2 := 70$$

$$P_{R2} := 31.201$$

Питома теплоємність висушеного матеріалу, кДж/(кг·К)

Параметри повітря:

- вологовміст d_0 , кг/кг

$$d_0 := 0.005$$

- відносна вологість φ_0 , %

$$\varphi_0 := 75$$

- температура t_0 , °C

$$d_2 := 0.052$$

- тиск p_0 , Па

$$p_0 := 105000$$

теплоємність повітря

$$C_n := 1.005$$

$$P := 100$$

Відносна вологість

$$\varphi_2 := 0.5$$

$$\varphi_0 := \begin{pmatrix} 90 \\ 85 \\ 80 \\ 75 \\ 70 \\ 65 \\ 60 \end{pmatrix}$$

$$\varphi_0 := \frac{\varphi_0}{100}$$

$$a := 0.622 \overrightarrow{(\varphi_0 \cdot P_{R0})} = \begin{pmatrix} 0.489 \\ 0.649 \\ 0.849 \\ 1.091 \\ 1.38 \\ 1.717 \\ 2.101 \end{pmatrix} \quad b := \left[P - \overrightarrow{(\varphi_0 \cdot P_{R0})} \right] = \begin{pmatrix} 99.214 \\ 98.956 \\ 98.635 \\ 98.246 \\ 97.781 \\ 97.239 \\ 96.623 \end{pmatrix}$$

Вологовміст повітря

$$h_{2vp} := C_n \cdot t_2 + (2500 + 1.96 \cdot t_2) \cdot d_2 = 207.484$$

$$d_0 := \frac{\overrightarrow{a}}{b} = \begin{pmatrix} 4.926 \times 10^{-3} \\ 6.561 \times 10^{-3} \\ 8.607 \times 10^{-3} \\ 0.011 \\ 0.014 \\ 0.018 \\ 0.022 \end{pmatrix}$$

Ентальпія повітря

$$h_{0vp} := C_n \cdot t_0 + \left[2500 \cdot d_0 + 1.96 \cdot \overrightarrow{(t_0 \cdot d_0)} \right] = \begin{pmatrix} 17.388 \\ 26.581 \\ 36.844 \\ 48.301 \\ 61.105 \\ 75.344 \\ 91.021 \end{pmatrix}$$

Теплота теоретичного процесу

$$q := \frac{h_{2vp} - h_{0vp}}{d_2 - d_0} = \begin{pmatrix} 4.038 \times 10^3 \\ 3.981 \times 10^3 \\ 3.932 \times 10^3 \\ 3.893 \times 10^3 \\ 3.864 \times 10^3 \\ 3.848 \times 10^3 \\ 3.849 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Кількість випаруваної води

$$W := 412.8 \quad W_c := \frac{412.8}{3600}$$

Потужність теоретичної сушарки

$$Q_T := q \cdot W_c$$

Витрата теплоносія $L := 3104$

Теплові втрати приймаємо 10% від потужності

Годинне завантаження сировини

$$G := W \cdot \frac{100 - \omega_2}{\omega_1 - \omega_2} = 502.539$$

Теплота на нагрівання сировини

Корисна теплота

$$Q_c := \frac{[G \cdot c_m \cdot (t_2 - t_0)]}{3600} = \begin{pmatrix} 21.777 \\ 20.102 \\ 18.426 \\ 16.751 \\ 15.076 \\ 13.401 \\ 11.726 \end{pmatrix}$$

$$Q_k := W_c \cdot 2500 = 286.667$$

Тепловий баланс

$$Q_{nv} := 44$$

$$Q_{\Sigma} := Q_c + Q_T + 0.1 \cdot Q_T + Q_{nv} = \begin{pmatrix} 575.132 \\ 566.268 \\ 558.432 \\ 551.739 \\ 546.433 \\ 542.794 \\ 541.211 \end{pmatrix}$$

ККД енергетичний (тепловий)

$$\eta_T := \frac{Q_k \cdot 100}{Q_{\Sigma}} = \begin{pmatrix} 49.844 \\ 50.624 \\ 51.334 \\ 51.957 \\ 52.461 \\ 52.813 \\ 52.968 \end{pmatrix} \%$$

ККД ексергетичний

$$\eta_{eks} := \left(\frac{\Delta E_{vipp}}{enn} \right) \cdot 100 = \begin{pmatrix} 16.735 \\ 14.774 \\ 12.692 \\ 10.478 \\ 8.119 \\ 5.601 \\ 2.906 \end{pmatrix} \%$$