

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра теплоенергетики

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Підвищення енергоефективності та автономності

аеродинамічної сушарки

08-11.МКР.006.00.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-18м
напряму підготовки

144 – теплоенергетика

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Коба П. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Співак О. Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

_____ (прізвище та ініціали)

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет БТЕГП

Кафедра _____ теплоенергетики

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність _____ 144 – теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ
_____ С. Й. Ткаченко
09 жовтня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кобі Павлу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності та автономності аеродинамічної сушарки»

керівник роботи _____ Співак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 02.10.2019 року №254

2. Строк подання студентом роботи _____ 3 грудня 2019 року

3. Вхідні дані до роботи видатність $G=1500$ кг/період; температура теплоносія на виході з калорифера $t_1=55$ °С; відносна вологість теплоносія на виході з сушарки $\varphi_2=50\%$; температура сировини на вході $\vartheta'=10$ °С; відносна вологість продукту на виході $\omega_1=85\%$; температура сировини на виході $\vartheta''=55$ °С; Відносна вологість продукту на виході $\sigma_2=14\%$; температура теплоносія на виході з сушарки $t_2=55$ °С; температура свіжого повітря на вході в калорифер $t_2=10$ °С; відносна вологість свіжого повітря на вході в калорифер $\varphi_0=80\%$;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: аналіз літературних та патентних джерел, аналіз варіантів застосування теплових схем руху теплоносія, математична модель, технічна частина, організаційно-технологічне забезпечення реалізації проектних рішень.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): варіанти теплових схем; сушарка аеродинамічна САД - 14, теплообмінник оребрений, календарний план монтажних робіт, функціональна схема автоматизації камерної аеродинамічної сушарки, графічні залежності, аксонометрична схема сушарки САД-14,

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Складення локального кошторису на будівельні роботи			
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 09.10.2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Аналіз літературних та патентних джерел.	15.10.19	
2	Аналіз варіантів застосування теплових схем руху теплоносія	25.10.19	
3	Розробка математичної моделі	30.10.19	
4	Розрахунок оребреного теплообмінника	05.11.19	
6	Організаційно – технологічне забезпечення реалізацій проектних рішень	15.11.19	
7	Складення локального кошторису на будівельні роботи	18.11.19	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	28.11.19	

Студент _____
(підпис)

Коба П.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Співак О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Анотація

У магістерській роботі проведено дослідження з метою підвищення енергоефективності та автономності аеродинамічної сушарки, модернізовано теплову схему з рекуперацією повітря з метою зменшення її енергоспоживання. Виконано варіантний аналіз і техніко-економічне обґрунтування модернізації. Складена математична модель роботи аеродинамічної камерної сушарки САД-14 за 5 схемами роботи.

Здійснено аналіз літературної і патентної інформації для визначення можливих шляхів зменшення енергоспоживання сушарки САД-14, проведено аналіз можливих варіантів досягнення мети, розраховано ребрений теплообмінник.

Графічна частина роботи включає 9 креслень на листах формату А3, список літератури 47 найменувань.

Abstract

In the master's thesis the research was carried out with the aim of improving the energy efficiency and autonomy of the aerodynamic dryer, modernized the thermal scheme with air recovery in order to reduce its energy consumption. A variant analysis and feasibility study of modernization were performed. The mathematical model of the work of the aerodynamic chamber dryer SAD-14 according to 5 schemes of work is made. The analysis of the literary and patent information was performed to determine possible ways of reducing the energy consumption of the SAD-14 dryer, the analysis of possible options for achieving the goal, the finned heat exchanger was calculated.

The graphic part of the work includes the 9 drawings on A3 sheets, the list of 47 titles.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ПАТЕНТНИХ ДЖЕРЕЛ.....	10
1.1 Використання і конструкція сушарок з РНУ	10
1.2 Фізична природа теплового ефекту при аеродинамічному нагріванні	15
1.3 Аналіз патентних джерел	19
1.4 Формування вихідних даних МКР	25
2 АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ СХЕМ.....	26
РУХУ ТЕПЛОНОСІЯ	26
2.1 Сушіння за схемою на продув	26
2.2 Сушіння за схемою з мокрим очищенням	28
2.3 Сушіння за схемою з рекуперацією теплоти.....	30
2.4 Сушіння за схемою з очищенням відпрацьованого теплоносія і рекуперацією теплоти	32
2.5 Схема з додатковим теплообмінником відхідних газів від ДВЗ в робочій камері.....	34
2.6 Техніко-економічне обґрунтування	36
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.....	39
3.1 Вихідні дані для математичної моделі.....	39
3.2 Опис математичної моделі	39
4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	43
4.1 Розрахунок ребреного теплообмінника	43
4.2 Конструктивний розрахунок ребреного теплообмінника.....	52
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	57
РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ	57
5.1 Автоматизація модернізованої сушарки.....	57
5.2 Монтаж додаткового обладнання для модернізації	66
5.2.4 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт, типів машин, механізмів, приспособувань і конструкцій.....	69
5.3 Оцінювання ефективності інноваційного проекту	75
5.4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	78

5.5 Розрахунок режиму роботи працівників в умовах радіаційного забруднення	93
ВИСНОВКИ.....	100
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	101
ДОДАТКИ.....	106

ВСТУП

Рециркуляційні нагрівальні установки аеродинамічного нагріву (РНУ) досить широко застосовуються в різних галузях промисловості, зокрема в технологічних процесах низько- і середньотемпературної харчової та термохімічної обробки матеріалів в області температур до 500-550 °С. Вони використовуються в процесах термообробки легких і кольорових металів і сплавів, теплової обробки полімерних матеріалів і харчових продуктів, для сушіння лакофарбових покриттів, термообробки спеціальних матеріалів (з синтетики, оргскла тощо). Крім того, РНУ застосовують в якості лабораторних випробувальних установок і як джерела тепла – для опалення приміщень в польових умовах [1].

Перевагами аеродинамічних сушильних камер можна вважати [2]:

- із зовнішніх комунікацій для роботи необхідна тільки 3-х фазна електрична мережа 380 В 50 Гц;
- можливість застосування високого ступеня автоматизації в управлінні сушильної камери;
- відсутність необхідності в постійному спостереженні обслуговуючим персоналом за процесом сушіння;
- можливість реалізації всього спектра режимів сушіння, від м'якого до форсованого.

Істотним недоліком аеродинамічних сушильних камер є їх високе (щодо класичних конвективних сушильних камер) енергоспоживання. Для сушіння 1 м³ обрізних, свіжорозрізаних соснових пиломатеріалів до вологості 12% необхідно затратити 170-190 кВт електроенергії [3]. Тому роботи, направлені на підвищення енергоефективності РНУ, зменшення їх енергоспоживання є актуальними.

Метою досліджень є модернізація теплової схеми камерної конвективної сушарки з аеродинамічним нагрівом (РНУ) з метою зменшення її енергоспоживання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- здійснити аналіз літературної і патентної інформації для визначення

можливих шляхів зменшення енергоспоживання сушарки САД-14;

- провести аналіз можливих варіантів досягнення мети;
- розрахувати допоміжне обладнання, призначене для підвищення енергоефективності роботи сушарки;
- виконати розрахунки економічної ефективності модернізації;
- розробити заходи з охорони праці.

Об'єкт дослідження - тепломасообмінний процес сушіння сировини в аеродинамічній камерній сушарці.

Предмет дослідження - виявлення закономірності впливу конструктивних і технологічних параметрів сушильної установки на оптимізацію процесу сушіння.

Наукова новизна роботи:

- отримала подальший розвиток теорія сушіння в сушарках аеродинамічного типу;
- вперше запропонована утилізація теплоти відхідних газів з ДВЗ безпосередньо в робочій камері аеродинамічної сушарки.

Практична цінність роботи полягає в підвищенні економічності роботи та енергоефективності сушарки САД -14

Особистий внесок магістранта полягає в складанні теоретичних моделей процесу сушіння сировини в аеродинамічних сушарках, постановці та проведенні числових досліджень, обробці отриманих результатів.

Апробація роботи. Окремі результати роботи доповідались на науково-технічних конференціях підрозділів Вінницького національного технічного університету та опубліковані в роботах [4,5].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ПАТЕНТНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Використання і конструкція сушарок з РНУ

Сушильні камери з аеродинамічним нагрівом (РНУ), найчастіше використовуються для сушіння пиломатеріалів твердолистяних і хвойних порід по 0, 1, 2, 3 категорії якості, в залежності від вимог до якості готової висушеної продукції. Об'єм разового завантаження базових сушильних камер від 3 до 25м³ умовного пиломатеріалу. Сушильні камери з аеродинамічним нагрівом набули широкого поширення на підприємствах малого та середнього бізнесу, використовуються, як правило, на нових виробничих площах і підприємствами, обмеженими у фінансових коштах, і, відповідно в можливості мати власного технолога по сушінню або оператора сушильної камери.

РНУ відрізняються надійністю в експлуатації, простотою конструкції і, як наслідок, низькою вартістю. Чим менше в сушильній камері вузлів і механізмів, тим менше ймовірність відмови сушильної камери в роботі, і, відповідно менше її ціна [6].

Кількість основних вузлів в аеродинамічних сушильних камерах – мінімальна; електродвигун з вентилятором, пускова і контролююча апаратура. Через конструктивні особливості специфікою аеродинамічних сушильних камер, є мінімальна кількість обслуговуючого персоналу. Крім того, аеродинамічний нагрів виключає можливість створення умов неякісної сушки для сировини. Шафа управління подібних сушильних камер виконує мінімальну кількість функцій, і крім приладів контролю має кнопки "Пуск" і аварійну "Стоп". Для роботи в таких сушильних камерах досить завантажити сировину, закрити двері, натиснути кнопку "Пуск", і, далі при досягненні сировиною заданої вологості, камера вимкнеться самостійно. Останнім часом з'явилися аеродинамічні сушильні камери з різним ступенем автоматизації техпроцесу в тому числі з частотним регулюванням обертів електродвигуна [7]. Універсальні

аеродинамічні сушильні камери оснащуються системами управління техпроцесом сушіння сировини від напівавтоматичного до повністю автоматизованої (комп'ютер) з управлінням жалюзі, заслінками для повітрообміну і системою зволоження [8].

Нагрівання і циркуляція повітря в аеродинамічних сушильних камерах (Рис.1.1) здійснюється вентилятором спеціальної конструкції (Рис.1.2).

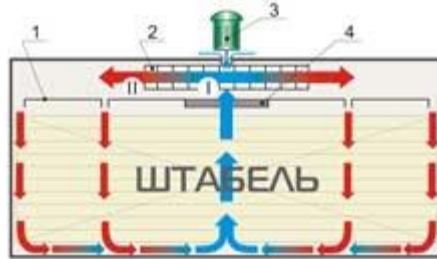


Рисунок 1.1 – Схема аеродинамічної сушарки

1 – ежекційні сопла; 2 – роторне колесо;

3 – електродвигун; 4 – перегородка

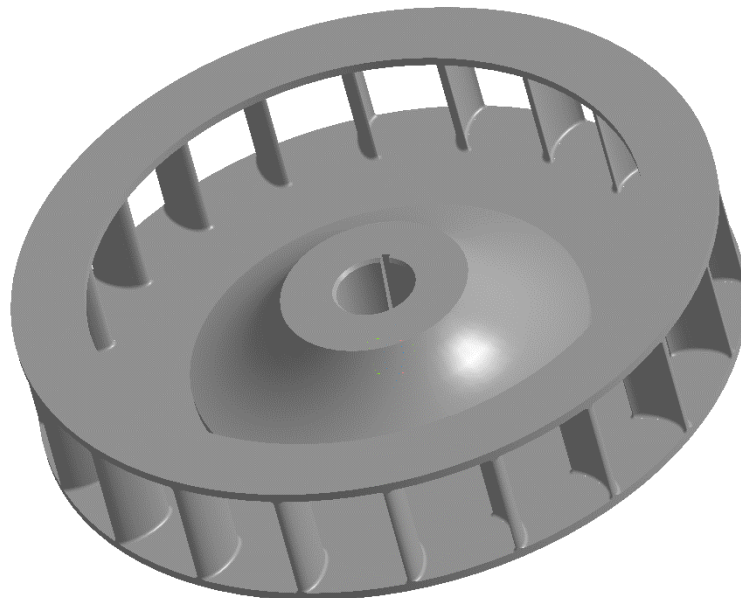


Рисунок 1.2 – Вентиляторне колесо для РНУ

Вентиляторні колеса статично і динамічно балансуються. Підвищення температури теплоносія відбувається внаслідок стиснення повітря на лопатках відцентрового вентилятора (2), або, іншими словами за рахунок

аеродинамічних втрат. Так як всі втрати в кінцевому підсумку переходять в теплоту, аеродинамічні сушильні камери мають високий ККД. Ротор вентилятора відділений від об'єму сушильної камери перегородкою з жалюзі (4). Швидкість нагріву регулюється зміною прохідного перерізу отвору всмоктування відцентрового вентилятора, що досягається поворотом пластин жалюзі, встановлених перед вентилятором. Важіль з фіксатором для управління жалюзі знаходиться з зовнішньої сторони сушильної камери поруч з електродвигуном. Зона підвищеного тиску (II) знаходиться за зовнішнім діаметром вентилятора, зона зниженого тиску (I) або всмоктувальна - у внутрішньому. Повітря нагнітається в бічні повітроводи з ежекційними соплами (1) розрахованого перерізу і висоти. Залежно від виконання сушильних камер - прохідні, тупикові, реверсивні, змінюється конструкція повітропроводів. Підведення повітря, для повітрообміну в базових моделях, виконується по отвору вздовж вала електродвигуна (3), тому що таке виконання створює додаткове охолодження передніх підшипників електродвигуна, що збільшує термін служби двигуна без ремонту [7].

Для використання аеродинамічних сушарок із техпроцесами з енергозберігаючими технологіями покладено метод переривчастої циркуляції сушильного агента по матеріалу. В даних сушильних камерах, в паузах, сповільнюється швидкість руху повітря по сировині, а значить, і підведення кількості теплоти в одиницю часу. Тривалість пауз зростає при сушінні більш товстих матеріалів, вони повільніше віддають вологу і, отже, більш схильні до розтріскування. За рахунок зниження швидкості сушильного агента, відбувається гальмування випаровування вологи з поверхні матеріалу в сушильній камері, тобто створюються умови оптимального перерозподілу вологи по товщині сировини, без виникнення напружень. Поєднання різних швидкісних режимів, при зниженій витраті електроенергії, призводить до підвищення якості через підвищення рівномірності сушіння матеріалу з більш високими швидкостями повітря. За цією ознакою скорочується і тривалість процесу. Із застосуванням цих перспективних режимів, потужні по подачі повітря, аеродинамічні

сушильні камери, стали ефективні як для швидковисихаючих матеріалів (безперервна робота вентиляторів), так і для важко висушуваних матеріалів з великою тривалістю процесу (зменшена подача повітря). У камерах сушіння передбачені додаткові ступені режимів з можливістю регулювання і переходом на новий щабель. Підвищилася гнучкість управління процесом сушіння шляхом зміни тривалості окремих циклів. При сушінні деревини, при правильно підбраному режимі, при сушінні товстих сортиментів хвойних порід або важкосохнучих сортаментів твердолистяних порід, зникає необхідність застосування гідротермічної обробки деревини. В період пауз, тобто в моменти малоінтенсивної циркуляції сушильного агента, відбувається кондиціонування і витримка матеріалу за рахунок власної вологи. Така операція еквівалентна вологотеплообробці в другій стадії сушки - без затримки загального часу висихання матеріалу (волога продовжує переміщатися з внутрішньої зони матеріалу до зовнішньої). Мета кондиціонування - надання висушеної деревини подальшої стабільності за розмірами і формою, штучне старіння деревини з урахуванням умов гідротермічної рівноваги при експлуатації виготовлених з неї виробів. Метод кондиціонування полягає в зволоженні поверхневої зони, щоб вирівняти вологість по товщині матеріалу, для зняття пружних деформацій і залишкових напружень. У сушильних камерах створюють умови, коли явища вологопереносу домінують над явищами вологообміну. Деякі пиломатеріали, які мають низку специфічних особливостей, що ускладнюють якісне висушування звичайними методами, такі як модрина, граб – відмінно сохнуть в сушильних камерах з РНУ за рахунок багатоступеневості техпроцесу [9].

З точки зору управління процесом сушіння, сушильна камера складається з (Рис.1.3):

- системи регулювання температури сушильного агента;
- системи регулювання вологості сушильного агента;
- системи контролю обладнання сушильної камери.

Для забезпечення циркуляції сушильного агента (повітря) в сушильних

камерах будь-якої конструкції використовуються вентилятори (осьові і відцентрові). Для нагрівання сушильного агента в калориферних сушильних камерах застосовуються калорифери і калориферні блоки, а в якості теплоносія - гаряча вода, відхідні гази або електричні ТЕНи. У разі аеродинамічних сушильних камер нагрівання і циркуляція сушильного агента здійснюється за рахунок спеціально розробленого відцентрового вентилятора (див. Рис. 1.2).

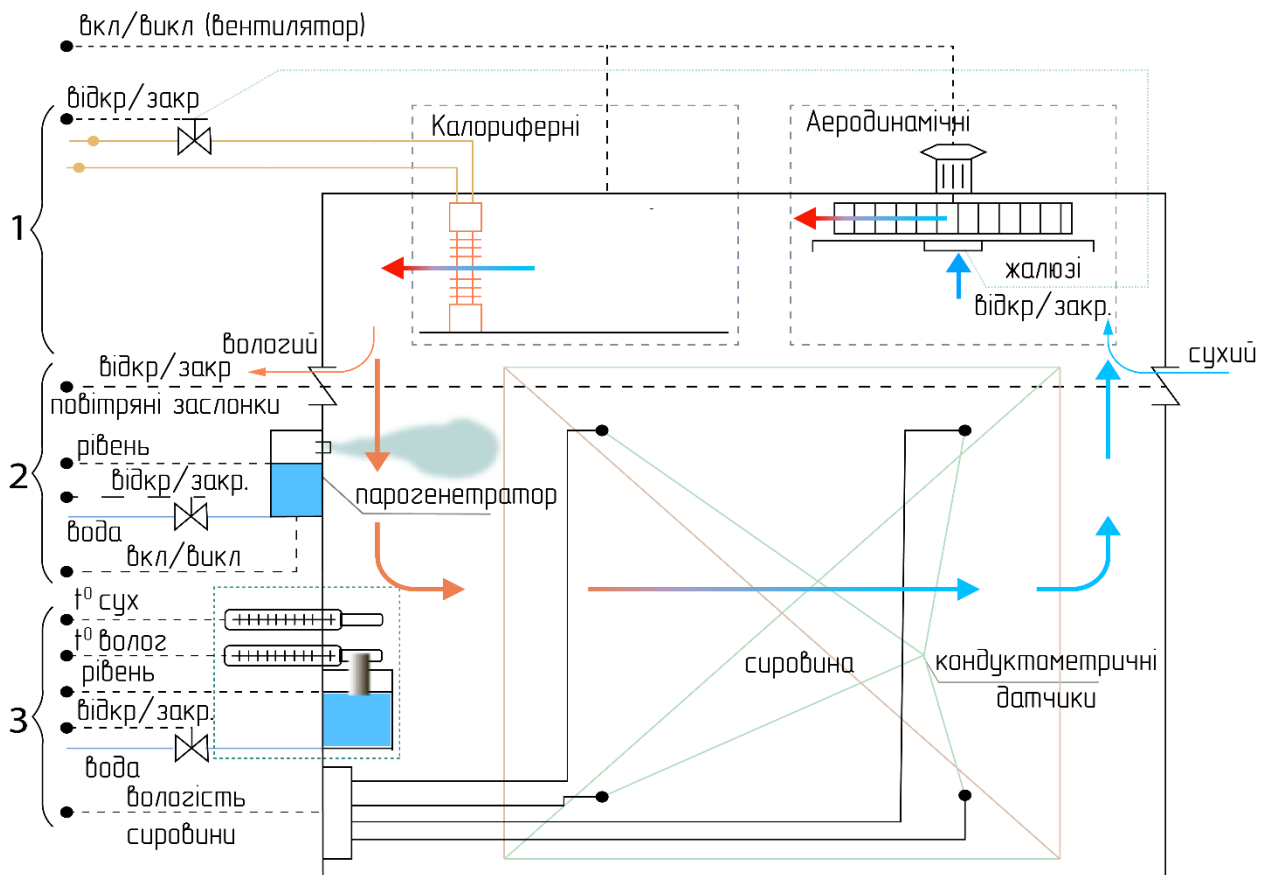


Рисунок 1.3 – Схема сушильної камери

Отже, для регулювання температури в калориферних сушильних камерах необхідно управляти кількістю теплоносія (гаряча вода) яка проходить через калорифери в одиницю часу. Іншими словами відкривати/закривати вентиль подачі гарячої води. Для аеродинамічних сушильних камер управління температурою сушильного агента здійснюється зміною продуктивності вентилятора (зміною перерізу всмоктуючого повітропроводу). Як регулюючі елементи використовуються жалюзі.

Для ефективного управління процесом сушіння необхідні також системи, що забезпечують підтримання заданого температурно – вологісного режиму в сушильній камері шляхом подачі команд на виконавчі механізми в залежності від сигналів датчиків, які сприймають зміну параметрів сушильного агента [10].

1.2 Фізична природа теплового ефекту при аеродинамічному нагріванні

Генератором теплоти в рециркуляційних нагрівальних установках є ротор відцентрового вентилятора, а джерелом теплової енергії різного роду аеродинамічні втрати в робочому колесі і в незначній мірі в циркуляційному тракті.

ККД відцентрових вентиляторів на робочих режимах коливається в межах 0,5-0,88 [11]. Для деяких типів ізольованих коліс, тобто роторів без корпусу, статичний ККД знижується до 0,05-0,15 [16]. У цьому випадку переважна частина підведеної до ротора енергії витрачається на подолання втрат у проточній частині робочого колеса. Розглянемо механізм перетворення цих втрат в теплову енергію

З механіки рідин і газів [17] відомо, що при русі суцільних середовищ відбувається перетворення одних видів енергії в інші, в першу чергу механічної енергії в теплову. Зміна температури тіла визначається співвідношенням теплоти і механічної роботи, переданих тілу або взятих від нього.

При адіабатному русі ідеального газу, як відомо з газової термодинаміки, зі збільшенням швидкості руху v газ охолоджується, а зі зменшенням, навпаки, розігрівається

$$C_p T_r + 0,5v^2 = \text{const}, \quad (1.1)$$

де C_p – ізобарна теплоємність газу;

T_g – абсолютна температура газу.

Згідно другому закону термодинаміки в адіабатній матеріальній системі ентропія є неспадною функцією часу. Її зростання показує, що всередині цієї системи відбуваються необоротні процеси перетворення механічної енергії в теплоту, супроводжувані втратами механічної енергії. Приклад таких втрат – втрати на внутрішнє тертя в ідеальних середовищах, де частина механічної енергії потоку за рахунок роботи внутрішніх сил тертя перетворюється в теплоту і має місце незворотний процес переходу механічної енергії в теплоту. Внутрішнє тертя (в'язкість) в газі і теплопровідність – дві сторони одного і того ж процесу молекулярного перенесення [13].

В динаміці суцільних середовищ виводяться рівняння енергетичного балансу для виділеного об'єму, які включають потужність внутрішніх сил, зокрема вираз для дисипованої (розсіяної) в цьому об'ємі питомої механічної енергії. Виходячи з 1-го закону термодинаміки, можна стверджувати, що в адіабатному процесі в нестисливому середовищі вся потужність внутрішніх сил необоротно переходить в теплоту.

Процес дисипації механічної енергії полягає в тому, що приведена в рух в'язка рідина розсіює надану їй енергію до тих пір, поки не прийде в стан спокою. Це поширення енергії здійснюється двома відмінними один від одного процесами: перший - просте перенесення енергії потоком рідини, другий - дифузія. Його природа та ж, що і у процесу в'язкого тертя, у цих процесів загальні коефіцієнти динамічної і кінематичної в'язкості [13]. Приклад такого процесу – дифузія вихорового руху у в'язкому нестисливому середовищі: вихор, що виникнув від імпульсу енергії, загасає, його енергія дисипує в об'ємі за рахунок роботи внутрішнього тертя, перетворюючись в теплоту. Рух газу в робочому колесі вентилятора супроводжується інтенсивним вихороутворенням.

В даний час можливі теоретичні розрахунки лише найпростіших задач динаміки в'язкої рідини (обтікання тіл за малих значень критерію Рейнольдса, $Re < 10^3$), але й ці рішення досить складні й громіздкі.

Формулювання енергетичного балансу для рухомого середовища на основі 1 – го закону термодинаміки в загальному вигляді можна представити рівняння енергетичного обміну в потоці середовища з врахуванням роботи внутрішніх сил тертя

$$q + p_1 - p_2 = l + l_{тр} + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 + 0,5\rho(v_2^2 - v_1^2) \quad (1.2)$$

де q – теплота, підведена до 1 м^3 газу на даній ділянці;

l – технічна робота, яка здійснюється 1 м^3 газу;

$l_{тр}$ – робота сил тертя на 1 м^3 газу;

$\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ – внутрішня енергія в досліджуваних розрізах потоку;

$p_1 - p_2$ – приріст (або втрата) енергії від роботи зовнішніх сил (тиску);

$0,5\rho(v_2^2 - v_1^2)$ - зміна кінетичної енергії потоку.

Надходження теплоти здійснюється двома способами: із-зовні – за рахунок відводу тепла через зовнішню поверхню та зсередини – за рахунок перетворення в тепло роботи тертя: $q = q_{наг} + q_{вн}$ при чому $q_{вн}$ еквівалентна роботі тертя, $q_{вн} = l_{тр}$. Використовуючи замість ε_1 та ε_2 еквівалентні їм теплозберігачі i_1 та i_2 рівняння теплового балансу буде виглядати так

$$q_{наг} - l = 0,5\rho(v_2^2 - v_1^2) + i_2 - i_1. \quad (1.3)$$

В даному рівнянні не включено роботу тертя бо енергія яка витрачається на подолання тертя або іншого виду опору, перетворюється в тепло, яке остається в газовому потоці тобто сили тертя на порушують загальний баланс енергії, а лише приводять до переходу одного виду енергії в другий.

Енергетичний рівень процесу обумовлюється швидкостями потоку в

об'ємі часу і визначенні теплоутворення зводиться до розрахунку швидкостей в усьому об'ємі потоку. Енергетичний баланс без врахування малих дій сил важкості газу для потоку нестискуючого середовища в закритому контурі записується у вигляді рівнянь Бернуллі

$$0,5\rho(v_{2п}^2 - v_{1п}^2) = (p_2 - p_1) - \Delta p_{втр}. \quad (1.5)$$

де $v_{п}$ - середні швидкості потоку повної кінетичної енергії,

p_1, p_2 – тиск в розрізах 1 та 2;

$\Delta p_{втр}$ – втрати тиску на тертя.

Звідси маємо, що зміна повної кінетичної енергії проходить з рахунок дії зовнішніх сил – тиску(перший член справа) та втрат напору (енергії) на подолання тертя. Щоб виділити долю енергії, зв'язану з вихровим утворенням, яке з часом перетворюється в тепло, вводиться ще одна швидкість $v_{в}$ – відносного в основному потоці вихрового руху. Тоді сумуючи енергію вихору з втратою на тертя, можна отримати вираження для загальної втрати $\Sigma p_{втр}$:

$$\Sigma p_{втр} = \Delta p_{тр} + 0,5\rho(v_{2в}^2 - v_{1в}^2). \quad (1.6)$$

Додаємо до цього рівняння втрати від надлишкової кінетичної енергії потоку, рівної $0,5\rho(\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2)$, ця енергія не може бути перетворена в статичний тиск або виконати якусь корисну роботу і з часом внаслідок в'язкості середовища розсіється в тепловий молекулярний рух, звідси сумарні аеродинамічні втрати енергії в потоці середовища складають

$$\Delta p_{втр} = \Delta p_{тр} + 0,5\rho(v_{2в}^2 - v_{1в}^2) + 0,5\rho(\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2). \quad (1.7)$$

Саме ці втрати і перетворюються в теплоту.

1.3 Аналіз патентних джерел

Відомі декілька конструкцій камерних аеродинамічних сушильних установок для сільськогосподарських продуктів. Так, в роботі [18] запропонована сушильна камера, зображена на Рис. 1.4 що може застосовуватися як для сушіння деревини, а саме пиломатеріалів, так і для плодовоягідної і овочевої продукції. Сутність винаходу полягає у використанні пристрою розподілення у вигляді пластини, яка згинається за параболічним законом та має шарнірне з'єднання, що дозволяє нижній частині пристрою підніматись до рівня фальш-стелі.

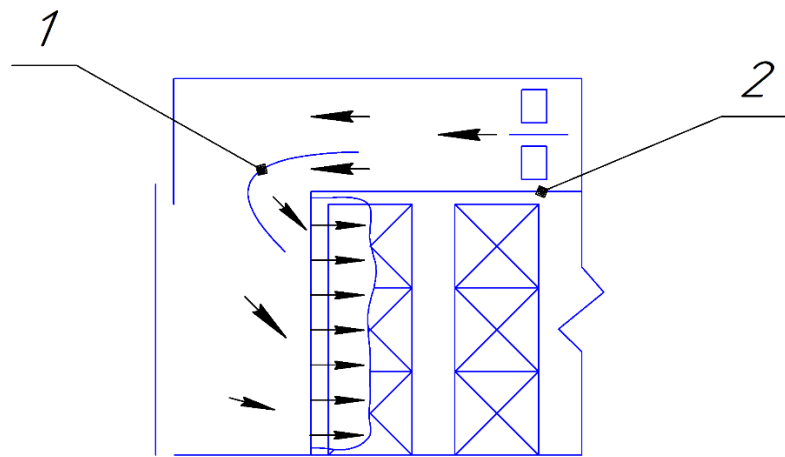


Рисунок 1.4 – Сушильна камера з розподільним пристроєм

1 – розподільча пластина, 2 – фальш-стеля

Перевагами такої конструкції є покращення якості сушіння по висоті штабелю пиломатеріалів.

Недоліком можна вважати складність використання даної конструкції у сушарках великого розміру.

В роботі [19] запропонована сушарка для сушіння деревини, зображена на рис. 1.5. Сутність винаходу полягає в використанні жалюзійних решіток, які дозволяють інтенсифікувати процес тепло- і масообміну і покращити якість сушіння пиломатеріалів, за рахунок усунення застійних зон.

Переваги такої схеми полягають у рівномірності обтікання теплоносієм всього штабелю пиломатеріалів.

Разом з тим сушарка має суттєвий недолік внаслідок утворення додаткового гідродинамічного опору, який з'являється при використанні жалюзійних решіток.

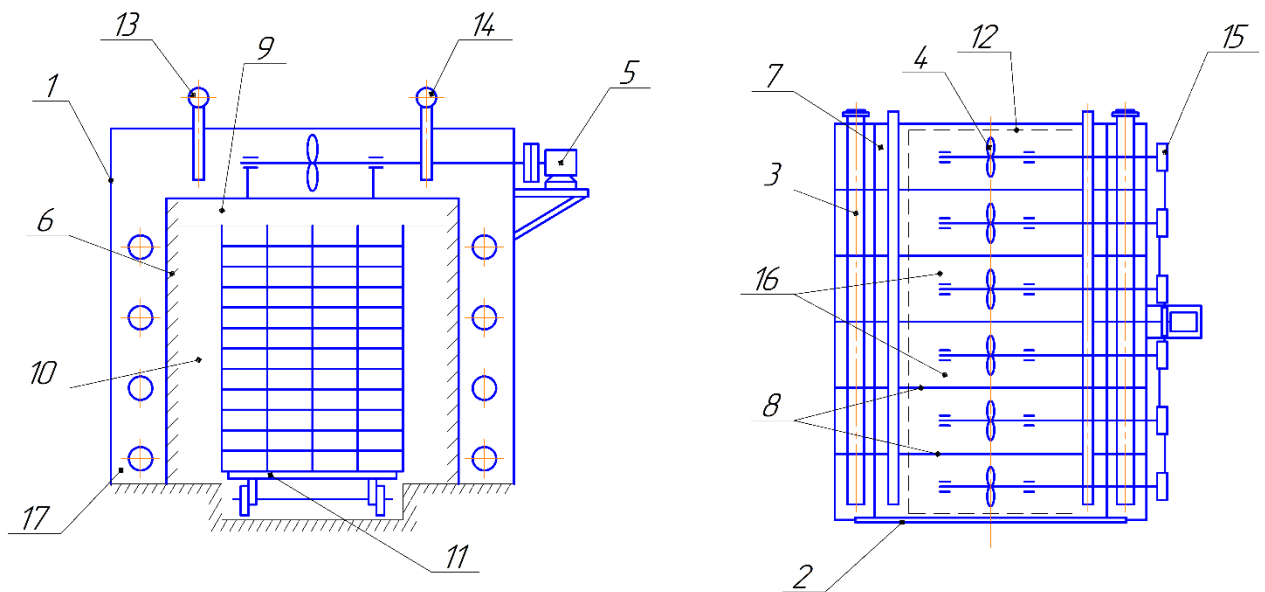


Рисунок 1.5 – Конвективна сушарка з жалюзійними решітками

1 – корпус, 2 – двері, 3 – калорифер, 4 – осьові вентилятори, 5 – реверсивний електродвигун, 6 – жалюзійні решітки, 7 – пасивний лоток, 8 – розділові П-подібні перегородки, 9 – горизонтальні пластини, 10 – вертикальні пластини, 11 – вантажний візок, 12 – штабель пиломатеріалів, 13 – лінії підводу повітря, 14 – лінії відводу пароповітряної суміші, 15 – пасова передача, 16 – П-подібна порожнина, 17 – циркуляційні канали.

Авторами роботи [20] запропонована сушарка деревини, зображена на рис.1.6. Сутність винаходу полягає у зниженні енергозатрат за рахунок можливості регулювання довжини робочого сушильного простору та відключення від мережі непрацюючих зон сушарки.

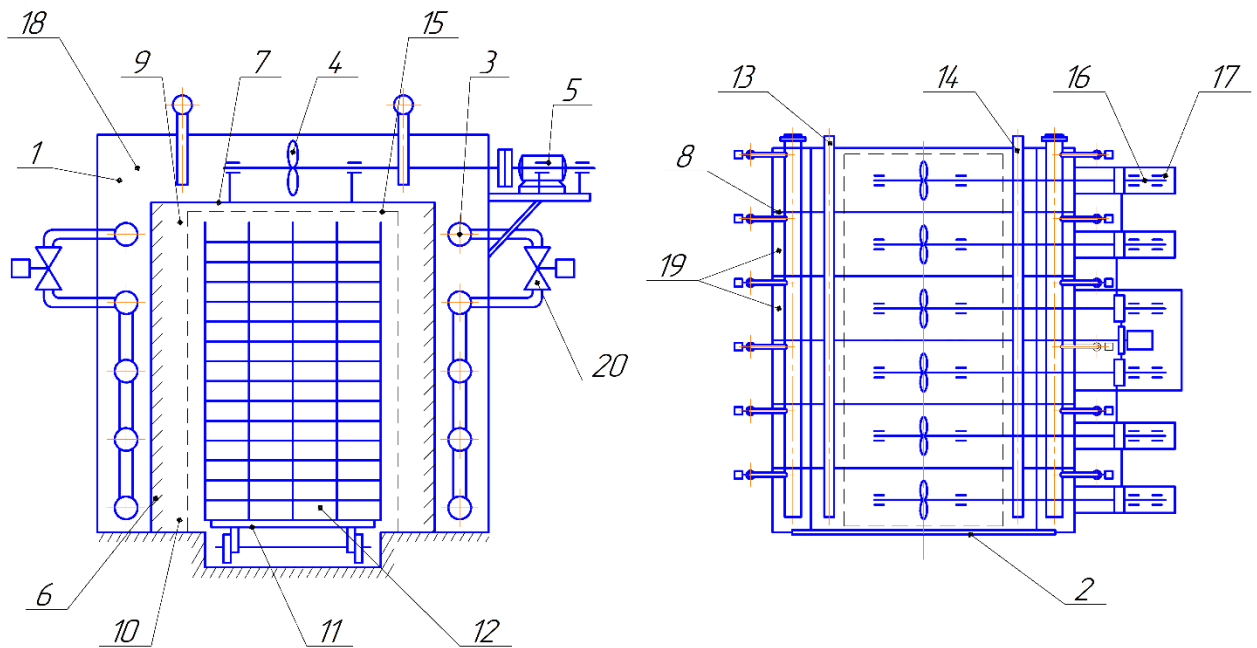


Рисунок 1.6 – Сушильна камера, з можливістю регулювання довжини сушильного простору

1 – корпус, 2 – двері, 3 – паропровід, 4 – вентилятор, 5 – реверсивний двигун, 6 – жалюзійні решітки, 7 – пасивний лоток, 8 – розділові П-подібні перегородки, 9 – горизонтальні пластини, 10 – вертикальні пластини, 11 – вантажний візок, 12 – штабель пиломатеріалів, 13 – лінії підводу повітря, 14 – лінії відводу пароповітряної суміші, 15 – екрани, 16 – співвісний вал, 17 – опори, 18 – П-подібна порожнина, 19 – циркуляційні канали, 20 – клапани.

До переваг конструкції можна віднести можливість скорочення енергетичних витрат при сушці штабелів пиломатеріалів різної довжини, за рахунок встановлення раціональної довжини сушильної зони, виключення застійних зон та забезпечення обтікання всього штабелю пиломатеріалів.

Недоліки: низька місткість камери, що робить її нераціональним вибором для великих підприємств. Також за рахунок використання великої кількості рухомих частин, які дозволяють регулювати розміри камери, значно зростає вартість обслуговування.

В роботі [21] описується корисна модель яка належить до нагрівальних пристроїв і може бути використана в різноманітних тепломасообмінних

технологічних процесах, наприклад при термічній, термохімічній, тепловій та тепловологісній обробці матеріалів і виробів, в тому числі, під тиском і в контрольованій атмосфері, зокрема при сушінні, просочуванні, стерилізації, підігріванні матеріалів тощо.

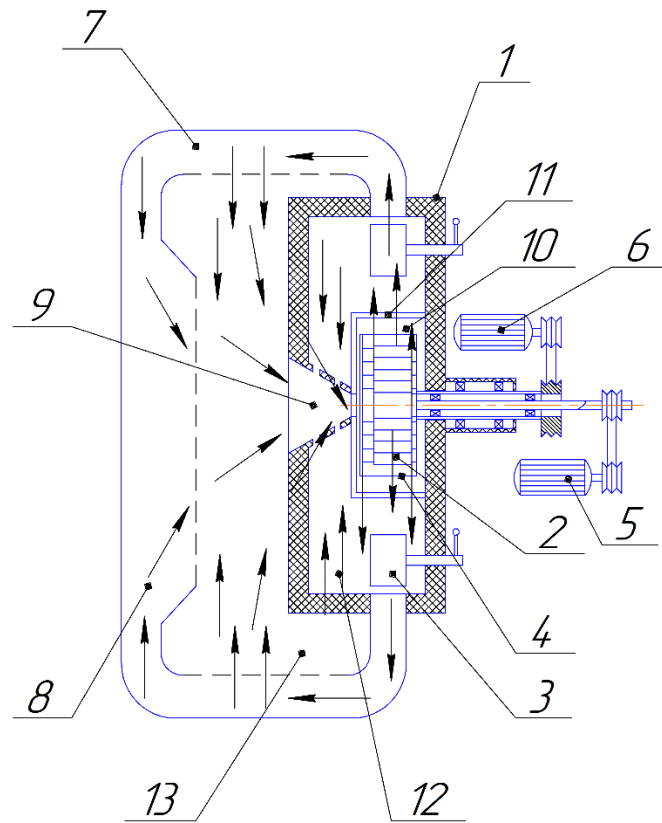


Рисунок 1.7 – Рециркуляційна установка аеродинамічного нагріву повітря
1 – теплоізолюваний корпус, 2 – відцентровий ротор, 3 – рухомі напрямні, 4 – додатковий відцентровий ротор більшого діаметра, 5 – електродвигун, 6 – електродвигун, 7 – поздовжні повітропроводи, 8 – поперечні повітропроводи, 9 – всмоктувальний отвір, 10 – внутрішня нагнітальна порожнина, 11 – з'єднуючі отвори, 12 – внутрішня рециркуляційна камера, 13 – зовнішня рециркуляційна камера.

Рециркуляційна установка аеродинамічного нагріву повітря містить корпус, основний відцентровий ротор, рухомі напрямні. В установку додатково введено теплоізолюваний корпус, в якому встановлено додатковий відцентровий ротор більшого діаметра, концентрично встановлений відносно основного. Основний і додатковий відцентрові ротори встановлені з можливістю з'єднання з окремими незалежними зовнішніми електродвигунами,

які виконані з можливістю обертання в різні сторони. На передній частині теплоізолюваного корпусу розташований всмоктувальний отвір, а внутрішня нагнітальна порожнина з'єднана отворами на її бічній поверхні з внутрішньою рециркуляційною камерою і повздовжніми та поперечними повітропроводами і зовнішньою рециркуляційною камерою, внутрішня порожнина якої має отвори, що з'єднують її з повздовжніми та поперечними повітропроводами.

Автор роботи [22] пропонує підвищити ступінь очищення повітря який циркулює в робочій камері від шкідливих компонентів і тим самим забезпечити санітарне його очищення при скорочених технологічних періодах роботи без застосування додаткових очищуючих пристроїв.

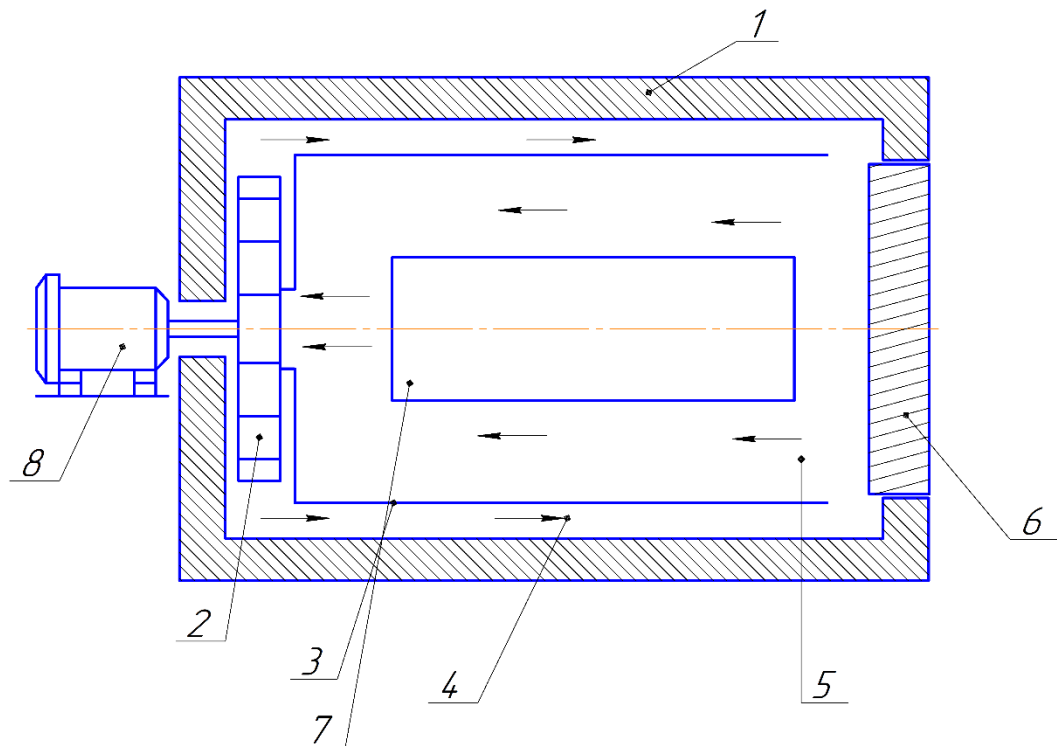


Рисунок 1.8 - Установа аеродинамічного нагріву повітря

- 1 – теплоізолюваний корпус, 2 – ротор, 3 – аеродинамічний нагівний екран,
 4 – порожнина зовнішня, 5 - робоча камера, 6 – люк, 7 – матеріал для сушки,
 8 – електродвигун.

Відомі пристрої аеродинамічного нагріву повітря, маючі теплоізоляційний корпус, всередині якого розміщений ротор аеродинамічного нагріву і

екран який створює зі стінками корпусу порожнину, під'єднану до нагрівальної сторони ротора, і обмежуючий робочий об'єм, підключений до всмоктувальної сторони ротора.

Однак, незалежно від конструкції і призначення камер аеродинамічного нагрівання їх об'єднує один суттєвий недолік: низька енергоефективність внаслідок значних теплових втрат в привідних машинах (двигунах). В електричних – внаслідок складності розрахунку і конструювання вентиляторних коліс для РНУ (вони мають завантажувати електродвигун на номінальну потужність). В ДВЗ – внаслідок значних теплових втрат в сорочці охолодження і з відхідними газами.

1.4 Формування вихідних даних МКР

Вихідні данні наведені в Таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для МКР.

Параметри			Одиниці вимірювання
Температура теплоносія на виході з калорифера	t_1	55	°С;
Відносна вологість теплоносія на виході з сушарки	φ_2	50	%
Температура сировини на вході	ϑ'	10	°С
Відносна вологість продукту на виході	ω_1	85	%
Температура сировини на виході	ϑ''	55	°С
Відносна вологість продукту на виході	σ_2	14	%
Видатність сушарки	G_1	1500	т/год
Температура теплоносія на виході з сушарки	t_2	55	°С
Температура свіжого повітря на вході в калорифер	t_2	10	°С
Відносна вологість свіжого повітря на вході в калорифер	φ_0	80	%

2 АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ СХЕМ РУХУ ТЕПЛОНОСІЯ

2.1 Сушіння за схемою на продув

Варіант сушіння за схемою на продув подано на рис. 2.1.

Питома витрата сухого повітря на сушіння, кг/кг

$$l = \frac{1}{d_2 - d_0}, \quad (2.1)$$

де d_0, d_2 – вологовміст повітря на вході та на виході з сушарки відповідно.

$d_0 = 6,2$ г/кг, $d_2 = 34$ г/кг (з $h-d$ діаграми).

$$l = \frac{1000}{34 - 6,2} = 35,97 \text{ (кг / кг)}.$$

Питома витрата теплоти

$$q = l(h_1 - h_0), \quad (2.2)$$

$$q = 35,97(195 - 26) = 6079 \text{ (кДж / кг)}.$$

Випарувана волога

$$W = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2}, \quad (2.3)$$

$$W = \left(\frac{1500}{3600} \frac{85 - 14}{100 - 14} \right) / 15 = 0,022 \text{ (кг / с)}.$$

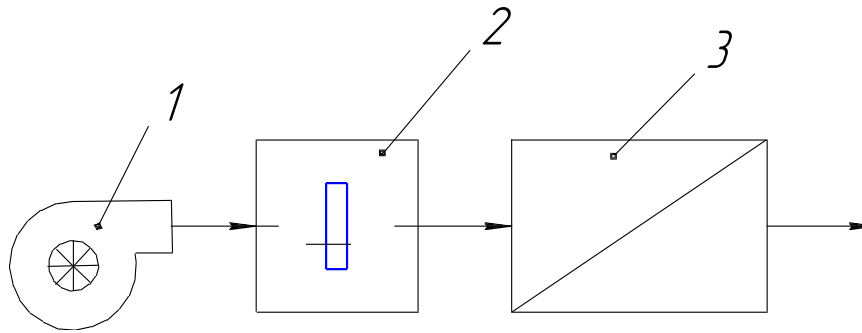


Рисунок 2.1 – Схема сушіння сировини

1 – вентилятор, 2 – аеродинамічний нагрівник,

3 – сушарка,

Споживана потужність

$$Q_k = \frac{q \cdot W}{3600}, \quad (2.4)$$

$$Q_k = 6079 \cdot 0,022 = 139,41 \text{ (кВт)}.$$

З таблиць водяної пари теплота пароутворення для робочої температури в сушарці $r = 2369$ кДж/кг.

Теплова потужність на випаровування вологи

$$Q_T = W \cdot r, \quad (2.5)$$

$$Q_T = 0,022 \cdot 2369 = 54,32 \text{ (кВт)}.$$

Критерій ефективності теоретичної сушарки, що працює за таким варіантом

$$\psi_T = \frac{Q_T}{Q_K}, \quad (2.6)$$

$$\psi_T = \frac{54,32}{139,4} = 0,389.$$

2.2 Сушіння за схемою з мокрим очищенням

Варіант 2 подано на рис. 2.2.

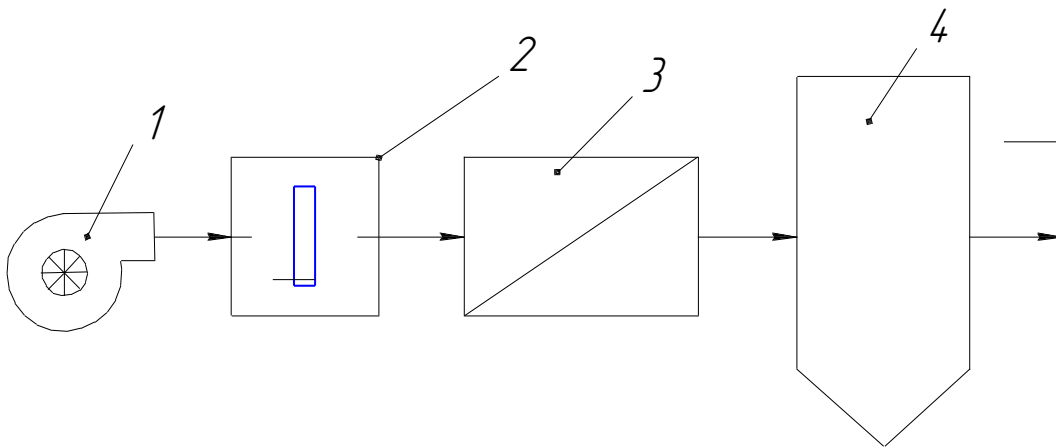


Рисунок 2.2 – Схема сушіння з мокрим очищенням

відпрацьованого теплоносія

1 – вентилятор, 2 – аеродинамічний нагрівник,

3 – робоча камера, 4 – мокрий циклон

Питома витрата сухого повітря на сушіння, кг/кг, за (2.1)

де d_0, d_2 – вологовміст повітря на вході та на виході з сушарки відповідно.

$d_0 = 6,2$ г/кг, $d_2 = 34$ г/кг (з $h-d$ діаграми).

$$l = \frac{1000}{34 - 6,2} = 35,97 \text{ (кг / кг)}.$$

Питома витрата теплоти

$$q = l(h_1 - h_0), \quad (2.7)$$

$$q = 35,97(195 - 26) = 6079 \text{ (кДж / кг)}.$$

Випарувана волога, за (2.3)

$$W = \left(\frac{1500}{3600} \frac{85 - 14}{100 - 14} \right) / 15 = 0,022 \text{ (кг / с)}.$$

Споживана потужність, за (2.4)

$$Q_k = 6079 \cdot 0,022 = 139,41 \text{ (кВт)}.$$

За таблицями водяної пари [4], теплота пароутворення для робочої температури в сушарці $r = 2369$ кДж/кг.

Теплова потужність на випаровування вологи, за (2.5)

$$Q_T = 0,022 \cdot 2369 = 54,32 \text{ (кВт)}.$$

Критерій ефективності теоретичної сушарки, що працює за таким варіантом, за (2.6)

$$\psi_T = \frac{54,32}{139,4} = 0,389.$$

Розрахунки показують, що встановлення мокрого циклона (скрубера) після робочої камери сушарки переваг з першим варіантом не має, але потребує додаткових затрат на придбання і встановлення скрубера. Однак, його встановлення покращує екологічну ситуацію в сушильному цеху.

2.3 Сушіння за схемою з рекуперацією теплоти

Варіант 3 подано на рис. 2.3. Приймаємо, що в результаті рекуперації температура вхідного повітря зростає до 16 °С.

Питома витрата сухого повітря на сушіння, кг/кг, за (2.1)

де d_0 , d_2 – вологовміст повітря на вході та на виході з сушарки відповідно.

$d_0 = 6,2$ г/кг, $d_2 = 34$ г/кг (з h - d діаграми).

$$l = \frac{1000}{34 - 6,2} = 35,97 \text{ (кг / кг)}.$$

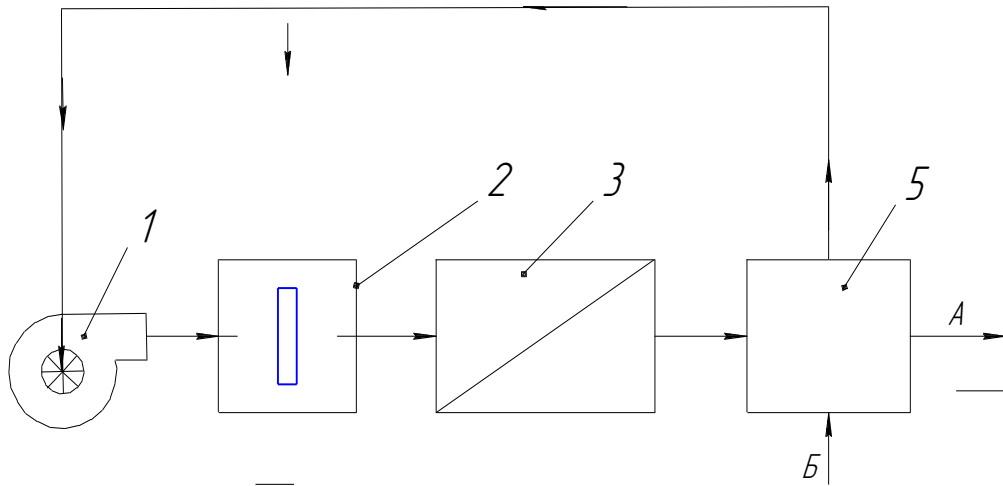


Рисунок 2.3 – Схема сушіння з рекуперацією теплоти

1 – вентилятор, 2 – аеродинамічний нагрівник, 3 – робоча камера,

5 – теплообмінник-рекуператор,

A – відпрацьоване повітря, Б – свіже повітря

Питома витрата теплоти, за (2.2)

$$q = 35,97(195 - 62) = 4784,17 \text{ (кДж / кг)}.$$

Випарувана волога, за (2.3)

$$W = \left(\frac{1500}{3600} \frac{85 - 14}{100 - 14} \right) / 15 = 0,022 \text{ (кг / с)}.$$

Споживана потужність, за (2.4)

$$Q_k = 4784,17 \cdot 0,022 = 109,71 \text{ (кВт)}.$$

За таблицями водяної пари [4], теплота пароутворення для робочої температури в сушарці $r = 2369$ кДж/кг.

Теплова потужність на випаровування вологи, за (2.5)

$$Q_{\tau} = 0,022 \cdot 2369 = 54,32 \text{ (кВт)}.$$

Критерій ефективності теоретичної сушарки, за таким варіантом

$$\psi_{\tau} = \frac{54,32}{109,71} = 0,49.$$

Розрахунки показують, що при встановленні теплообмінника-рекуператора ефективність використання теплоти значно зростає, але виникне технологічна проблема з очищенням теплообмінника від пилу, який виноситиме відпрацьований теплоносій з барабана сушарки.

2.4 Сушіння за схемою з очищенням відпрацьованого теплоносія і рекуперациєю теплоти

Варіант 4 подано на рис. 2.4. Приймаємо, що в результаті рекуперації температура вхідного повітря зростає до 13°C , оскільки матимуть місце втрати теплоти в циклоні під час очищенні відпрацьованого теплоносія від пилу.

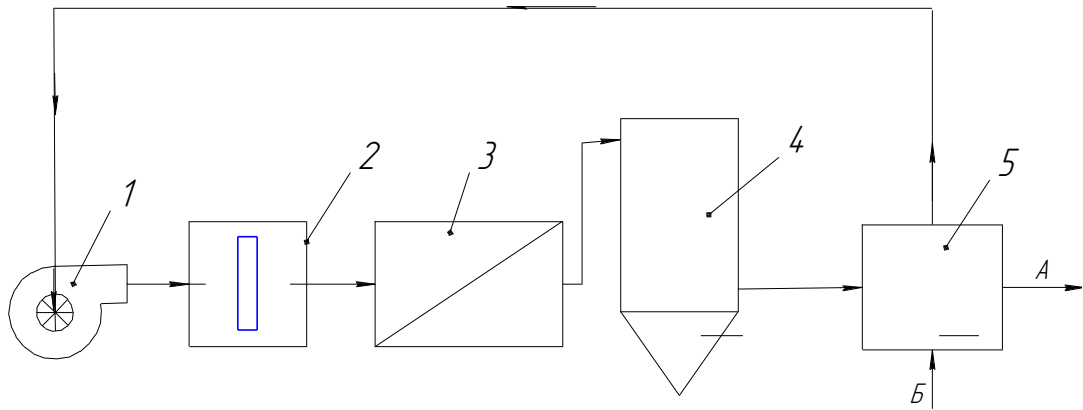


Рисунок 2.4 – Схема з очищенням відпрацьованого теплоносія і рекуперацією теплоти

1 – вентилятор, 2 – аеродинамічний нагрівник, 3 – робоча камера,
4 – циклон, 5 – рекуператор

Оскільки в процесі підігріву повітря $d = \text{const}$, то питома витрата сухого повітря на сушіння, за формулою (2.1)

$$l = \frac{1000}{34 - 6,2} = 35,97 \text{ (кг / кг)}.$$

Питома витрата теплоти, за формулою (2.2)

де $h_0 = 20$ кДж/кг, $h_2 = 195$ кДж/кг (за h - d діаграмою)

$$q = 35,97(195 - 20) = 6294 \text{ (кДж / кг)}.$$

Випарувана волога за (2.3)

$$W = 0,022 \text{ (кг/с)}.$$

Споживана потужність, за (2.4)

$$Q_k = 6294 \cdot 0,022 = 144,3 \text{ (кВт)}.$$

Критерій ефективності теоретичної сушарки, за таким варіантом

$$\Psi_{\tau} = \frac{54,32}{144,3} = 0,37.$$

2.5 Схема з додатковим теплообмінником відхідних газів від ДВЗ в робочій камері

Варіант 5 подано на рис. 2.5. Приймаємо, що в результаті рекуперації температура вхідного повітря зростає до 20 °С.

Питома витрата сухого повітря на сушіння, кг/кг, за (2.1)

де d_0 , d_2 – вологовміст повітря на вході та на виході з сушарки відповідно.

$d_0 = 6,6$ г/кг, $d_2 = 39$ г/кг (з h-d діаграми).

$$l = \frac{1000}{34 - 6,2} = 35,97 \text{ (кг / кг)}.$$

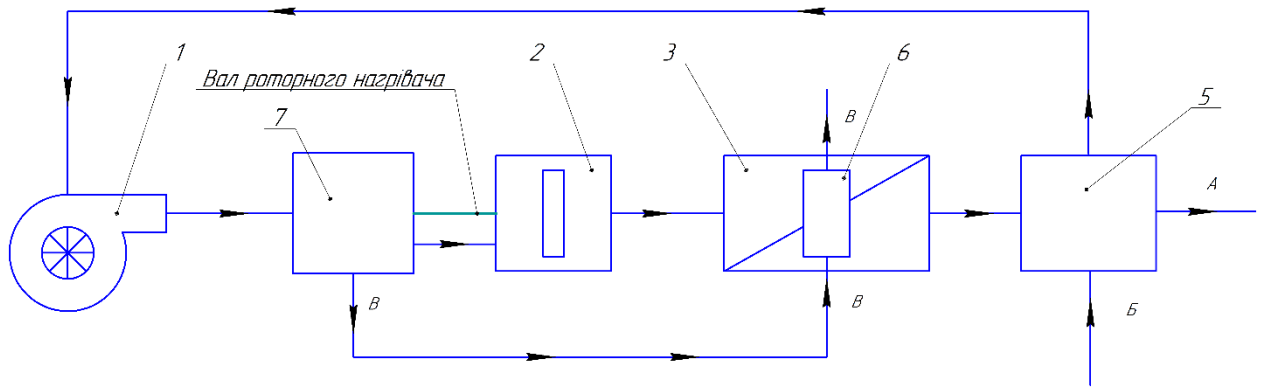


Рисунок 2.5 – Схема сушіння з рекуперацією теплоти

1 – вентилятор, 2 – аеродинамічний нагрівник, 3 – робоча камера,
 5 – теплообмінник-рекуператор, 6 – оребрений теплообмінник, 7 – дизельний
 двигун.
 А – відпрацьоване повітря, Б – свіже повітря, В – відхідні гази з дизельного
 двигуна.

Питома витрата теплоти, за (2.2)

$$q = 35,97(195 - 70) = 4496 \text{ (кДж / кг)}.$$

Випарувана волога, за (2.3)

$$W = \left(\frac{1500}{3600} \frac{85 - 14}{100 - 14} \right) / 15 = 0,022 \text{ (кг / с)}.$$

Споживана потужність, за (2.4)

$$Q_k = 4496 \cdot 0,022 = 98,91 \text{ (кВт)}.$$

За таблицями водяної пари [4], теплота пароутворення для робочої температури в сушарці $r = 2369$ кДж/кг.

Теплова потужність на випаровування вологи, за (2.5)

$$Q_r = 0,022 \cdot 2369 = 54,32 \text{ (кВт)}.$$

Критерій ефективності теоретичної сушарки, за таким варіантом

$$\psi_r = \frac{54,32}{98,91} = 0,55.$$

Розрахунки показують, що при встановленні оребреного теплообмінника ефективність використання теплоти значно зростає.

2.6 Техніко-економічне обґрунтування

Приймемо, що після модернізації видатність сушарки залишиться незмінною. Тоді вартість сирого і висушеної сировини, відрахування на амортизацію, витрати на заробітну плату, витрати на ремонт, втрати теплоти в навколишнє середовище тощо для всіх варіантів співпадають, їх для проведення ТЕО можна не враховувати. Розрахунок можна провести з врахуванням витрат на паливо і витрат на модернізацію сушарки. Детальний розрахунок доцільно буде виконати для вибраного варіанта в економічній частині роботи.

2.6.1 Перший варіант. Витрата електроенергії в теоретичній сушарці за першим варіантом, складає 139,41 (кВт).

Ціна електроенергії на 20 листопада 2019 складає грн [23].

Тоді вартість одного циклу сушки складе

$$B = Q_{\text{пал}} \cdot C_e \cdot \tau, \quad (2.8)$$

$$B = 139,41 \cdot 1,68 \cdot 15 = 3513 (\text{грн} / \text{сушка}).$$

2.6.2 Другий варіант. Оскільки витрата палива для варіанту 2 аналогічна варіанту 1 ціна сушки не зміниться.

2.6.3 Третій варіант. Споживана потужність $Q_{\text{пал}} = 109,71$ кВт.

Тоді за (2.8) вартість циклу

$$B = 109,71 \cdot 1,68 \cdot 15 = 2764 (\text{грн} / \text{сушка}).$$

2.6.4 Четвертий варіант. Споживана потужність $Q_{\text{пал}} = 144,36$ кВт.

Тоді за (2.8) вартість циклу

$$B = 144,36 \cdot 1,68 \cdot 15 = 3637 (\text{грн} / \text{сушка}).$$

2.6.5 П'ятий варіант. Споживана потужність $Q_{\text{пал}} = 98,91$ кВт.

Тоді за (2.8) вартість циклу

$$B = 98,91 \cdot 1,68 \cdot 15 = 2492 \text{ (грн / сушка)}.$$

Розрахунки вартості процесу сушіння показують що найвигіднішим є варіант з номером 5 з встановленням оребреного теплообмінника.

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

3.1 Вихідні дані для математичної моделі

Вихідні дані для математичної моделі взято з таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для складання числової моделі

Показники	Одиниці вимірювання	Варіанти сушіння				
		1	2	3	4	5
Питома витрата сухого повітря на сушіння	кг/кг	35,97	35,97	35,97	35,97	35,97
Питома витрата теплоти	кДж/кг	6079	6079	4784,17	6294	4496
Випарувана волога	кг/с	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
Споживана потужність	кВт	139,41	139,41	109,71	144,3	98,91
Теплота пароутворення для робочої температури в сушарці	кДж/кг	2369	2369	2369	2369	2369
Теплова потужність на випаровування вологи	кВт	54,32	54,32	54,32	54,32	54,32
Критерій ефективності теоретичної сушарки, що працює за таким варіантом	-	0,389	0,389	0,49	0,37	0,55

3.2 Опис математичної моделі

Математична модель створена на основі змістової моделі, яка

відображає суттєві властивості об'єкта або процесу, що моделюється і містить опис вхідних параметрів (керованих або стохастичних), внутрішніх параметрів і вихідних параметрів. Створення математичної моделі проводилося шляхом формалізації змістової моделі у вигляді систем рівнянь різних видів, нерівностей або відношень.

Математична модель містить 24 лінійних та нелінійних рівнянь.

Модель є дискретно-детермінованою за видом (F-схемою). За допомогою таких схем описуються моделі пристроїв контролю та управління, що мають дискретний характер роботи в часі. Математична модель складається з завдання початкового стану процесу і з рівнянь, які задають значення вихідних параметрів в даний момент часу в залежності від значень вхідних параметрів і внутрішніх станів в даний або попередній моменти.

Відносно розмірності простору модель одновимірна. Модель є оптимізаційною, критерієм оптимізації є максимально можливе значення критерію ефективності сушарки.

При конструювання математичної моделі прийняті такі спрощення і допущення:

- теплофізичні характеристики теплоносія (теплоємність, густина, теплопровідність, кінематична в'язкість) є константами і незмінні в процесі сушіння;
- процес сушіння розраховується для зони сушіння з постійною швидкістю;
- розраховані коефіцієнти тепло- і масовіддачі є константами;
- швидкість руху теплоносія над сировиною є сталою і рівномірною по всіх піддонах сушарки.

Результати числового експерименту представлені на рис. 5.1 – 5.3, а реалізація математичної моделі в пакеті Excel подана в Додатку Б.

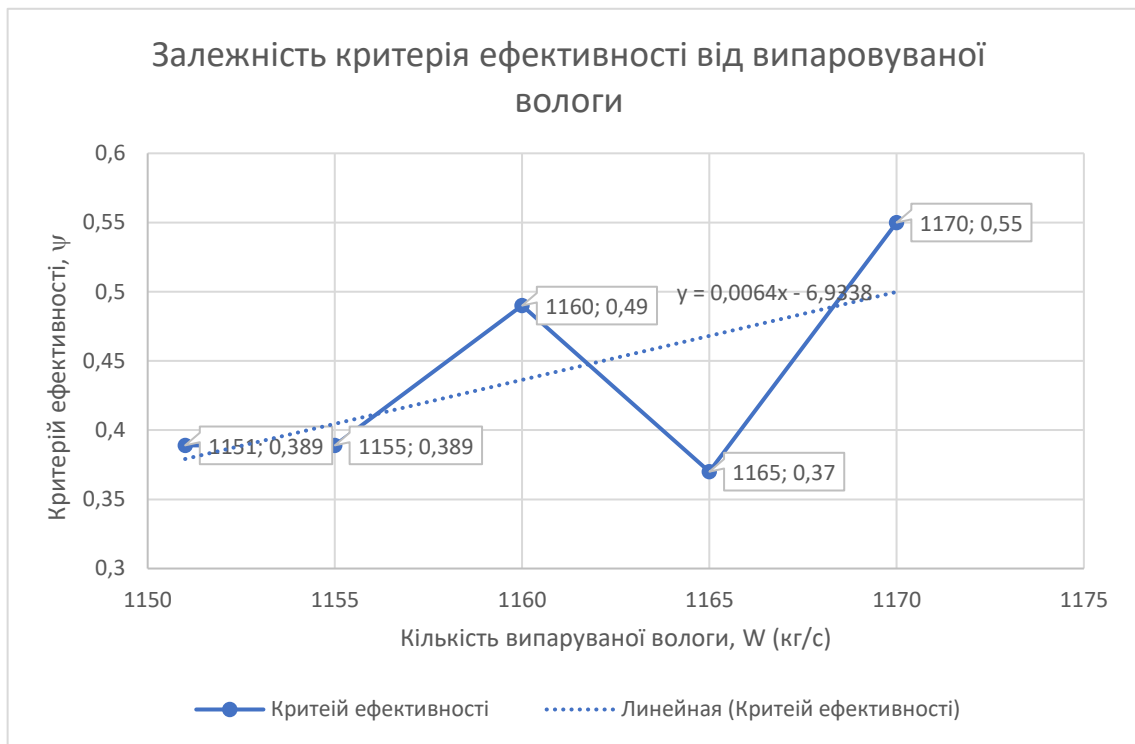


Рисунок 3.1 – Графік залежності критерія ефективності від випаровуваної вологи.

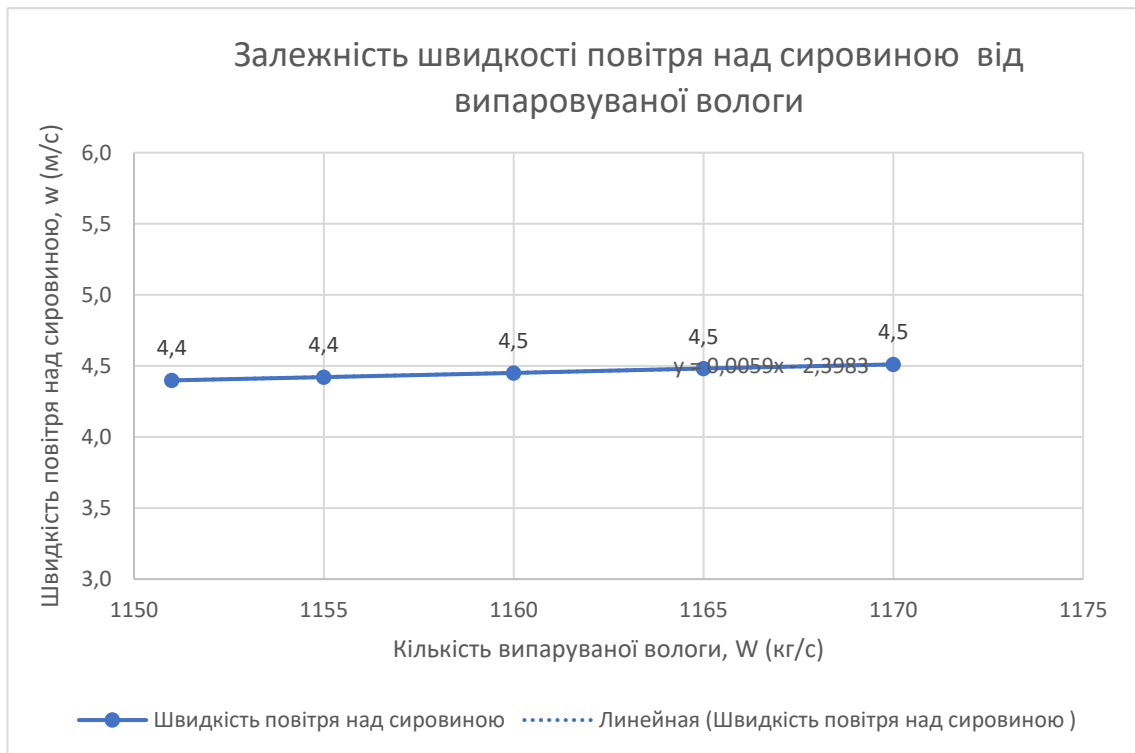


Рисунок 3.2 – Графік залежності швидкості повітря над сировиною від випаровуваної вологи.

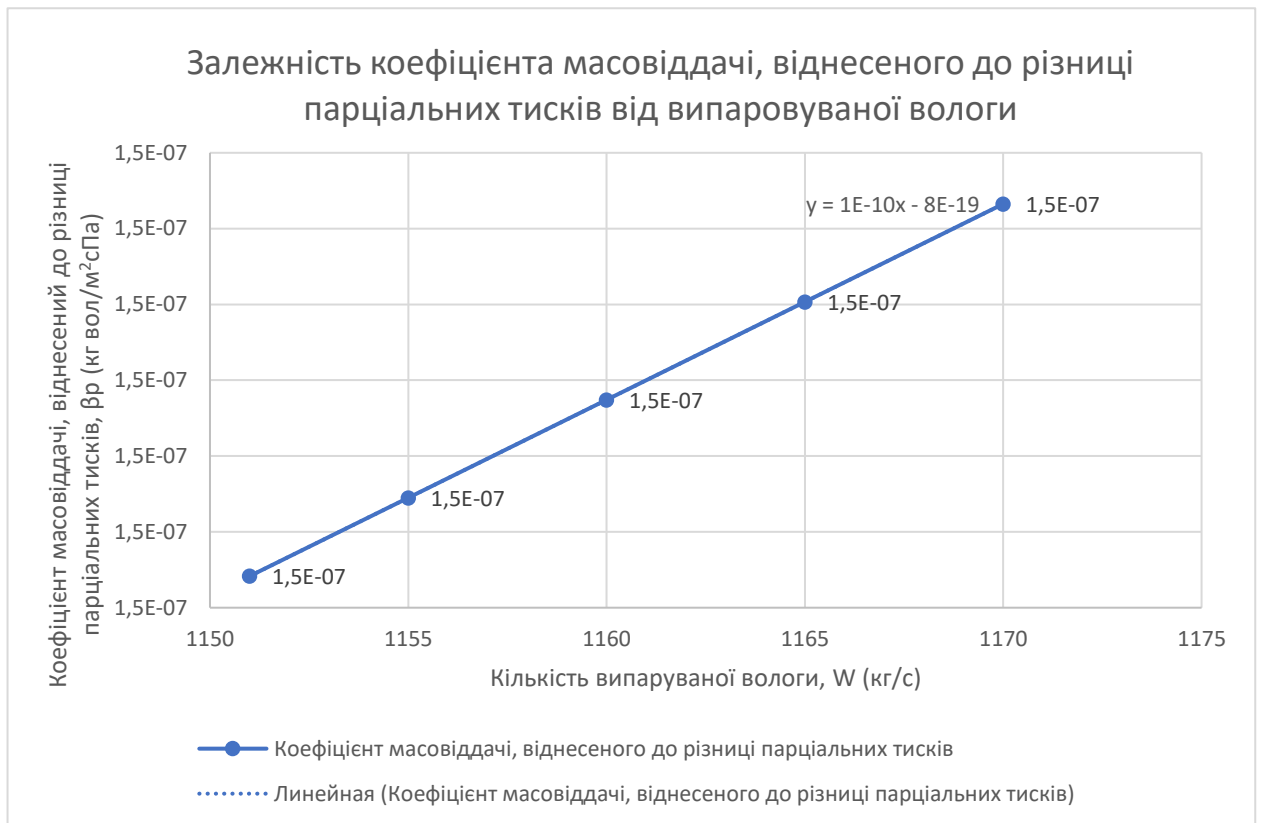


Рисунок 3.3 – Графік залежності коефіцієнта масовіддачі, віднесеного до різниці парціальних тисків від випаровуваної вологи.

Апроксимація графіка на рисунку 3.1 лінійною регресією дає рівняння $y = 0,0064x - 6,938$.

Результати математичного моделювання показують що найбільш ефективною є схема з додатковим оребреним теплообмінником в робочій камері в здійснюється утилізація відхідних газів з ДВЗ.

4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок оребреного теплообмінника

Початкові дані

- потужність ТА $Q = 24$ кВт;
- температура відхідних газів з ДВЗ на вході в теплообмінник $t_1' = 385$ °С;
- температура відхідних газів з ДВЗ на виході з теплообмінника $t_1'' = 70$ °С;
- температура теплоносія на вході в ТА $t_2' = 41$ °С;
- температура теплоносія на виході з ТА $t_2'' = 65$ °С;

4.1.1 Кількість теплоти

Для утилізації тепла відхідних газів двигуна внутрішнього згорання ми пропонуємо використати оребрений відкритий теплообмінник розташований під колесом аеродинамічного теплонагрівника в робочій камері сушарки.

Визначаємо кількість теплоти яку можуть відати відхідні газы ДВЗ.

$$Q_{\text{вг}} = (G_{\text{вг}} \cdot C_{\text{рвг}} \cdot t_{\text{вг}} - G_{\text{пов}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}}) \cdot B_{\text{пал}} \quad (4.1)$$

де $G_{\text{вг}}$ - масова витрата відхідних газів, кг;

$C_{\text{р вг}}$ - теплоємність відхідних газів, кДж/кг ;

$t_{\text{вг}}$ - температура відхідних газів, °С ;

$G_{\text{пов}}$ - теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг палива, кг;

$C_{\text{пов}}$ - теплоємність повітря при $t_{\text{пов}} = 15$ °С ;

$t_{\text{пов}}$ - температура повітря для спалювання 1 кг палива, °С;

$V_{\text{пал.}}$ - витрата палива, кг/с;

Витрата палива, кг/с

$$V_{\text{пал}} = \frac{b_e \cdot N_{\text{д}}}{3600}, \quad (4.2)$$

де b_e - питома витрата палива, кг/(кВт·год);

$N_{\text{д}}$ - потужність дизельного двигуна, кВт.

Підставляючи значення в (2.2) отримаємо

$$V_{\text{пал}} = \frac{0,215 \cdot 90}{3600} = 5,375 \cdot 10^{-3} \text{ (кг/с)}.$$

Теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг палива

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H - O_{\text{T}} \right), \quad (4.3)$$

де C , H , O_{T} – складові дизельного палива ($C = 0,87$; $H = 0,126$; $O_{\text{T}} = 0,004$);

Підставляючи значення в (2.3) отримаємо

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot 0,87 + 8 \cdot 0,126 - 0,004 \right) = 14,45 \text{ (кг)}.$$

Підставляючи значення в (2.1) отримаємо

$$Q_{\text{вр}} = (15,45 \cdot 1,142 \cdot 370 - 14,45 \cdot 1,005 \cdot 15) \cdot 5,3 \cdot 10^{-3} = 36,56 \text{ (кВт)}.$$

4.1.2 Тепловий баланс оребреного теплообмінника

$$G_{\text{вг}} \cdot (h_1' - h_1'') = G_{\text{т}} \cdot (h_2'' - h_2'), \quad (4.4)$$

де $G_{\text{вг}}$ – масова витрата відхідних газів, кг ;

$G_{\text{т}}$ – масова витрата повітря в сушарці, кг ;

h_1', h_1'' – ентальпія відхідних газів на вході і виході з теплообмінника, кДж/кг;

h_2', h_2'' – ентальпії підігрітого повітря, кДж/кг;

Параметри відхідних газів і теплоносія зведемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри відхідних газів і теплоносія за температурою $t_{\text{вг}} = 227,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{\text{тн}} = 55,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

	відхідні газы	теплоносій
температура, $^\circ\text{C}$		
– на вході	385	41
– на виході	70	65
теплоємність, кДж/(кг·к)		
– на вході	1,142	1,006
– на виході	1,051	1,006
густина кг/м	0,6	1,093

Витрата відхідних газів

$$G_{\text{вг}} = V \cdot l_0, \quad (4.5)$$

$$G_{\text{вг}} = 5,375 \cdot 10^{-3} \cdot 15,45 \cdot 0,6 = 0,05 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right),$$

Витрата теплоносія, з рівняння теплового балансу ТА

$$0,05 \cdot (385 - 70) \cdot 1,122 = G_T \cdot (65 - 41) \cdot 1,006;$$

$$G_T = \frac{0,05 \cdot (385 - 70) \cdot 1,122}{(65 - 41) \cdot 1,006} = 0,74 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

4.1.3 Розрахунок площі теплообмінника

Теплова потужність ТА

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t, \quad (4.6)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

F – площа теплообміну, м^2

Δt – середній температурний напір, $^{\circ}\text{C}$.

Теплообмінник ТО-1 – оребрений з перехресною течією теплоносіїв.

$$G_1 C_1 > G_2 C_2$$

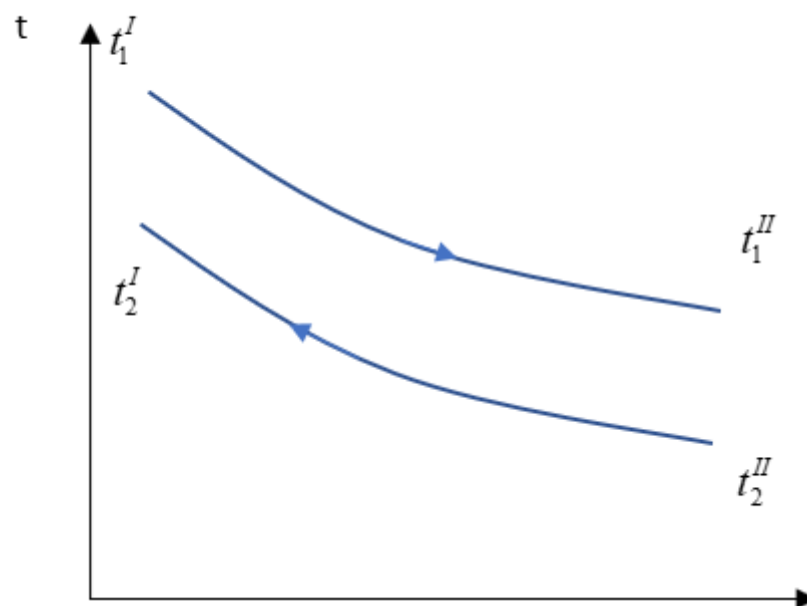


Рисунок 4.1 – Графік температурного напору

$$\Delta t_{\delta} = t_1' - t_2'' = 385 - 65 = 320 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1'' - t_2' = 70 - 41 = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Середньологарифмічний температурний напір

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (4.7)$$

$$\Delta t = \frac{320 - 29}{\ln \left(\frac{320}{29} \right)} = 121 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

При перехресному потоці середній температурний напір дорівнює

$$\Delta t = \Delta t_{\text{прот}} \cdot \varepsilon_{\Delta t}, \quad (4.8)$$

де $\varepsilon_{\Delta t}$ – коефіцієнт переводу, по графіках, в залежності від параметрів P і R [4].

$$\varepsilon_{\Delta t} = f \cdot (PR), \quad (4.9)$$

Розрахуємо величину P за формулою

$$P = \frac{t_2' - t_2''}{t_1' - t_1''}, \quad (4.10)$$

Підставивши значення отримаємо

$$P = \frac{65 - 41}{385 - 70} = 0,275 \leq 1.$$

Розрахуємо величину R за формулою

$$R = \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}, \quad (4.11)$$

$$R = \frac{385 - 65}{298 - 41} = 1,24.$$

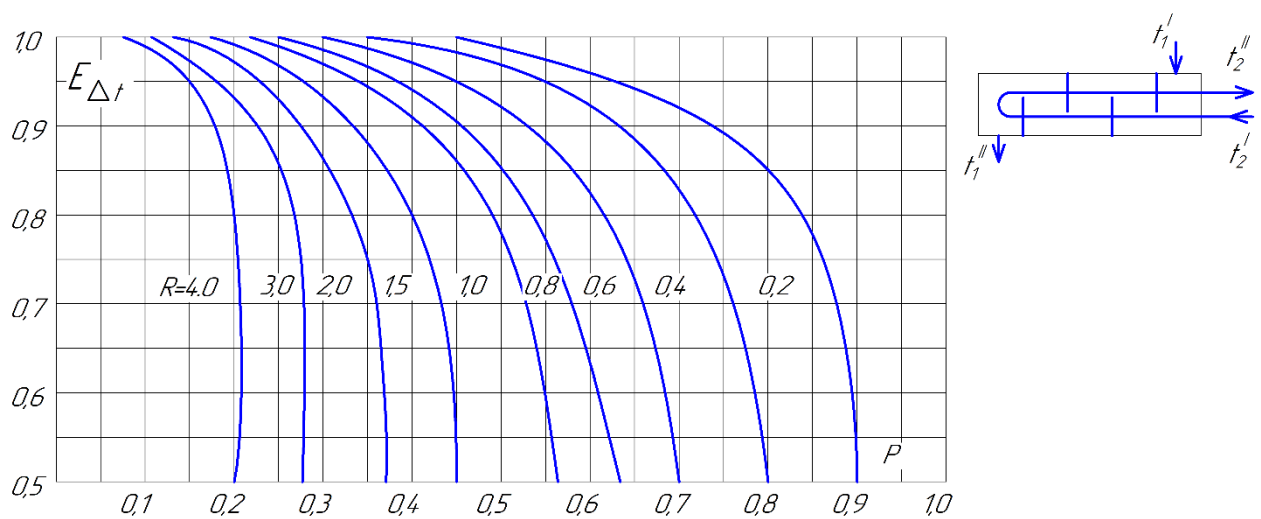


Рисунок 4.2 – Графік визначення коефіцієнта переходу

За графіком $\varepsilon_{\Delta t} = 0,9865$

Тоді середній температурний напір складе

$$\Delta t_{с.т.нап} = 121 \cdot 0,9865 = 119,56 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4.1.4 Розрахунок коефіцієнта теплопередачі

Коефіцієнт теплопередачі, (Вт/м² К)

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}, \quad (4.12)$$

Матеріал теплообмінника: латунь Л92, товщиною 3 мм, $\delta_{ст} = 3 \cdot 10^{-3}$ (м).

Коефіцієнт теплопровідності металу $\lambda_{ст} = 90$ (Вт/м · К) [2].

Термічний опір стінок теплообмінника внаслідок відкладень на стінках

$$R_{заг} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad (4.13)$$

$R_{заг}$ можна прийняти $R_{заг} = 0$, бо в теплообміннику відкладень на стінках немає;

λ_1, λ_2 – коефіцієнти теплопровідності стінки ТА і шару відкладень.

Приймаємо трубки в ТА із латуні Л92 діаметрами 36/30 мм.

Внутрішній діаметр трубок ТА $d_e = 0,03$ м.

Швидкість відхідних газів в трубках

$$v_1 = \frac{4G_{вг}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho}, \quad (4.14)$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot 0,03^2 \cdot 0,6} = 117,7 \left(\frac{м}{с} \right),$$

Для зменшення швидкості в трубках прийmemo число трубок $n = 8$.

Тоді

$$v = \frac{v_1}{8} = \frac{117,7}{8} = 14,7 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Середня температура відхідних газів в теплообміннику

$$t_1^{\text{cp}} = \frac{t_1' + t_1''}{2}, \quad (4.15)$$

$$t_1^{\text{cp}} = \frac{385 + 70}{2} = 227,5^\circ\text{C}.$$

По таблиці теплофізичних властивостей відхідних газів [2] при $t_1^{\text{cp}} = 227,5^\circ\text{C}$, $\nu_1 = 37,145 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right)$, $\lambda_1 = 4,6 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right)$.

Критерій Рейнольдса

Для відхідних газів

$$\text{Re}_1 = \frac{v_1 \cdot d_e}{\nu_1}, \quad (4.16)$$

$$\text{Re}_1 = \frac{14,7 \cdot 0,03}{37,145 \cdot 10^{-6}} = 11872.$$

Середня температура теплоносія в теплообміннику

$$t_2^{\text{cp}} = \frac{t_2' + t_2''}{2}, \quad (4.17)$$

$$t_2^{\text{cp}} = \frac{41+65}{2} = 53^{\circ}\text{C}.$$

З таблиці фізичних властивостей сухого повітря при $t_2^{\text{cp}}=53^{\circ}\text{C}$,
 $v_1=18,01 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right)$, $\lambda_1 = 2,76 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right)$

Прийmemo швидкість теплоносія в міжтрубному просторі 10 м/с [2].

Тоді

$$\text{Re}_2 = \frac{10 \cdot 0,036}{18,01 \cdot 10^{-6}} = 19989.$$

Критерій Нуссельта для відхідних газів в трубах та теплоносія з круглим оребренням труб [6].

$$\text{Nu}_1 = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,9} \cdot \text{Pr}^{0,33}, \quad (4.18)$$

$$\text{Nu}_1 = 0,021 \cdot 11872^{0,9} \cdot 0,678^{0,33} = 86.$$

$$\text{Nu}_2 = 0,0729 \text{Re}^{0,74} \text{Pr}^{0,36} \cdot \psi, \quad (4.19)$$

$$\text{Nu}_2 = 0,0729 \cdot 19989^{0,74} \cdot 0,69^{0,36} \cdot 0,85 = 82.$$

де ψ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра, 0,85.

Коефіцієнт тепловіддачі від відхідних газів до стінки ТА

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_e}, \quad (4.20)$$

$$\alpha_1 = \frac{86 \cdot 4,6 \cdot 10^{-2}}{0,03} = 131,8 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки ТА до теплоносія, за (4.20)

$$\alpha_2 = \frac{82 \cdot 2,76 \cdot 10^{-2}}{0,036} = 62,8 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

4.2 Конструктивний розрахунок оребреного теплообмінника

Оскільки коефіцієнт тепловіддачі до повітря значно менший, ніж від газів, для підвищення інтенсивності тепловіддачі доцільно застосувати оребрення.

Умова оребрення

$$\frac{1}{\alpha_1 F_1} = \frac{1}{\alpha_2 F_2}, \quad (4.21)$$

Звідки коефіцієнт оребрення

$$\beta = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{131,8}{62,8} = 2,1.$$

Для оребрення приймемо плоскі круглі насадні ребра товщиною 3 мм і висотою 40 мм від поверхні труби (загальна висота 106 мм).

Модуль ребра

$$m = \sqrt{\frac{\alpha \Pi}{\lambda f}}, \quad (4.22)$$

де Π – периметр ребра, м;

f – площа перерізу ребра, м²;

λ – теплопровідність матеріалу ребра, для латуні $\lambda = 90 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right)$.

$$m = \sqrt{\frac{62,8 \cdot 3,14 \cdot 0,106}{90 \cdot 0,003 \cdot 0,106}} = 27 \left(\frac{1}{\text{м}} \right).$$

Критерій Біо

$$\text{Bi} = \frac{\alpha_p \delta}{\lambda}, \quad (4.23)$$

$$\text{Bi} = \frac{62,8 \cdot 0,003}{90} = 0,002.$$

Коефіцієнт ефективності ребра

$$E = \frac{\text{th} \left(\frac{\ell}{\delta} \sqrt{2\text{Bi}} \right)}{\frac{\ell}{\delta} \sqrt{2\text{Bi}}}, \quad (4.24)$$

$$E = \frac{\operatorname{th}\left(\frac{0,04}{0,03}\sqrt{2 \cdot 0,002}\right)}{\frac{0,04}{0,03}\sqrt{2 \cdot 0,002}} = 0,977.$$

Площа оребреної поверхні

$$F_{p.c} = F_p + F_c, \quad (4.25)$$

де F_p – площа ребер на погонний метр ($\text{м}^2/\text{м}$);

F_c – площа погонного метра стінки без ребер.

$$F_p = n \cdot f, \quad (4.26)$$

де n – кількість ребер на 1 м труби;

f – площа 1 ребра.

$$f = \frac{\pi(l_{\text{зар}}^2 - d_{\text{зов}}^2)}{4}, \quad (4.27)$$

$$f = \frac{3,14 \cdot (106^2 - 36^2)}{4} = 0,0078.$$

$$n = \frac{l_{\text{тр}}}{S}, \quad (4.28)$$

$$n = \frac{1000}{48} = 20.$$

де $l_{\text{тр}}$ – довжина труби 1 (м);

S – довжина між зовнішніми гранями ребр 48 (мм).

Площа погонного метра стінки без ребер

$$F_c = \pi \cdot d_3 \cdot S_p \cdot N_{\text{пром}}, \quad (4.29)$$

$$F_c = 3,14 \cdot 0,036 \cdot 0,045 \cdot 19 = 0,096 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$F_p = 20 \cdot 0,0078 = 0,156 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Тоді площа оребреної поверхні за (3,5)

$$F_{p,c} = 0,156 + 0,096 = 0,252 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від оребреної поверхні
($\alpha_p = \alpha_c = \alpha_2$)

$$\alpha_{\text{пр}} = \alpha_p E \frac{F_p}{F_{p,c}} + \alpha_c \frac{F_c}{F_{p,c}}, \quad (4.30)$$

$$\alpha_{\text{пр}} = 62,8 \cdot 0,977 \frac{0,156}{0,252} + 62,8 \frac{0,096}{0,252} = 61,9 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Коефіцієнт теплопередачі оребреної стінки

$$k_{p,c} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta'}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{пр}} \beta} \right)^{-1}, \quad (4.31)$$

$$k_{p.c} = \left(\frac{1}{131,8} + \frac{0,003}{90} + \frac{1}{61,9 \cdot 2,1} \right)^{-1} = 65,3 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Поверхня теплообміну теплообмінника

$$F = \frac{Q}{k_{p.c} \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (4.32)$$

$$F = \frac{24000}{65,3 \cdot 119,56} = 3,07 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Довжина труби

$$l_1 = \frac{F}{n}, \quad (4.33)$$

$$l_1 = \frac{12}{8} = 1,52 \text{ (м)}.$$

Кількість ребр при довжині 1,5 м

$$n = \frac{1500}{48} = 31.$$

Приймаємо кількість ребр 30 шт.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

5.1 Автоматизація модернізованої сушарки

5.1.1 Характеристика технологічного обладнання

З точки зору управління процесом сушіння, сушильна камера складається з (Рис.1.3):

- системи регулювання температури сушильного агента;
- системи регулювання вологості сушильного агента;
- системи контролю обладнання сушильної камери.

Для забезпечення циркуляції сушильного агента (повітря) в сушильних камерах будь-якої конструкції використовуються вентилятори (осьові і відцентрові). Для нагрівання сушильного агента в калориферних сушильних камерах застосовуються калорифери і калориферні блоки, а в якості теплоносія - гаряча вода, відхідні гази або електричні ТЕНи. У разі аеродинамічних сушильних камер нагрівання і циркуляція сушильного агента здійснюється за рахунок спеціально розробленого відцентрового вентилятора (див. Рис. 5.1).

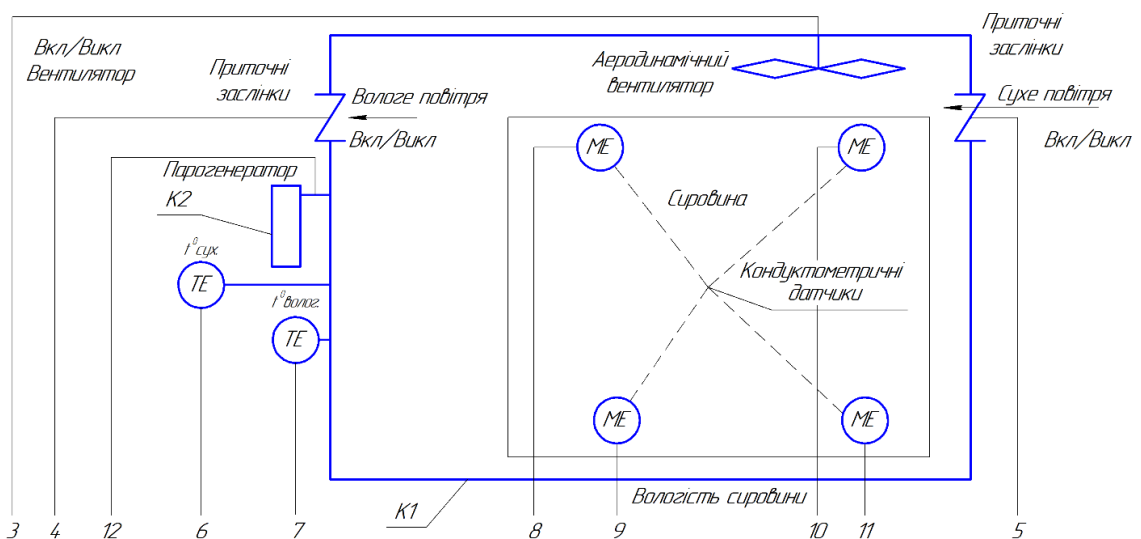


Рисунок 5.1 – Схема сушильної камери

Для ефективного управління процесом сушіння необхідні також системи, що забезпечують підтримання заданого температурно – вологісного режиму в сушильній камері шляхом подачі команд на виконавчі механізми в залежності від сигналів датчиків, які сприймають зміну параметрів сушильного агента.

5.1.2 Обґрунтування вибору параметрів, що регулюються

АСУ (автоматична система управління) Модуль С-2 складається з 2-х шаф, шафи електроніки і силової шафи, і системи периферійних пристроїв (виконавчі механізми і датчики). АСУ виконана у вигляді 2-х шаф обумовлена вимогами захисту від електромагнітного впливу, що надає надійність системі.

Система управляє включенням та виключенням приводу вентилятора. Відповідно до заданого режиму роботи сушки АСУ автоматично підтримує температурно-вологістний режим в сушильній камері по показникам "сухого" та "мокрого" термометрів.

5.1.3 Регулювання температури в камері

Для регулювання температури (при зміні показників "сухого та мокрого" термометрів) в сушильній камері застосовується управління регулюванням приточними заслонками біля перетину всмоктуючого повітроводу вентилятора. З датчиків температури ТЕ (6, 7) сигнал спрямовується в шафу електроніки (1), потім сигнал спрямовується на силову шафу (2) яка в свою чергу починає виконувати регулювання приточними заслонками (4, 5) для відновлення заданої температури в сушильній камері.

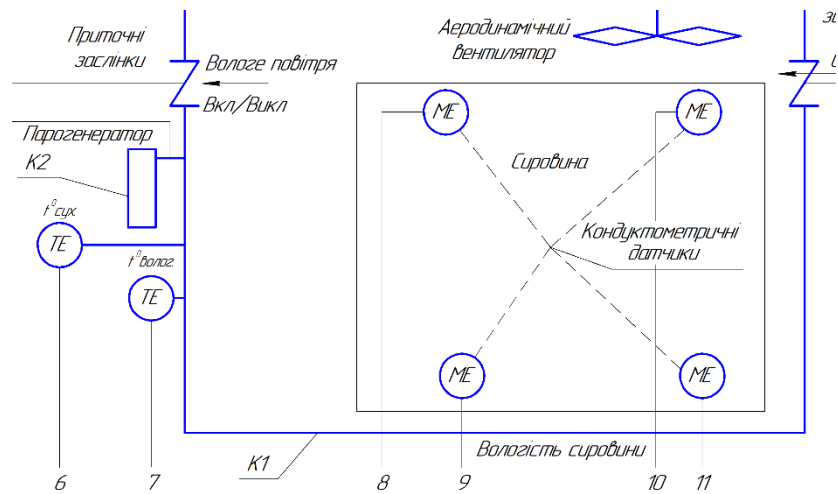


Рисунок 5.2 – Регулювання температури в сушильній камері K2 – парогенератор TE 6, TE7 датчики температури.

Регулювання вологості в камері

Для регулювання вологості в сушильній камері застосовуються парогенератор (K2) а також приточні заслінки (4, 5). Сигнал з датчиків вологості сировини ME (8, 9, 10, 11) надходить в шафу електроніки (1) з якої подається в силову шафу (2) яка регулює роботу заслонок і парогенератора.

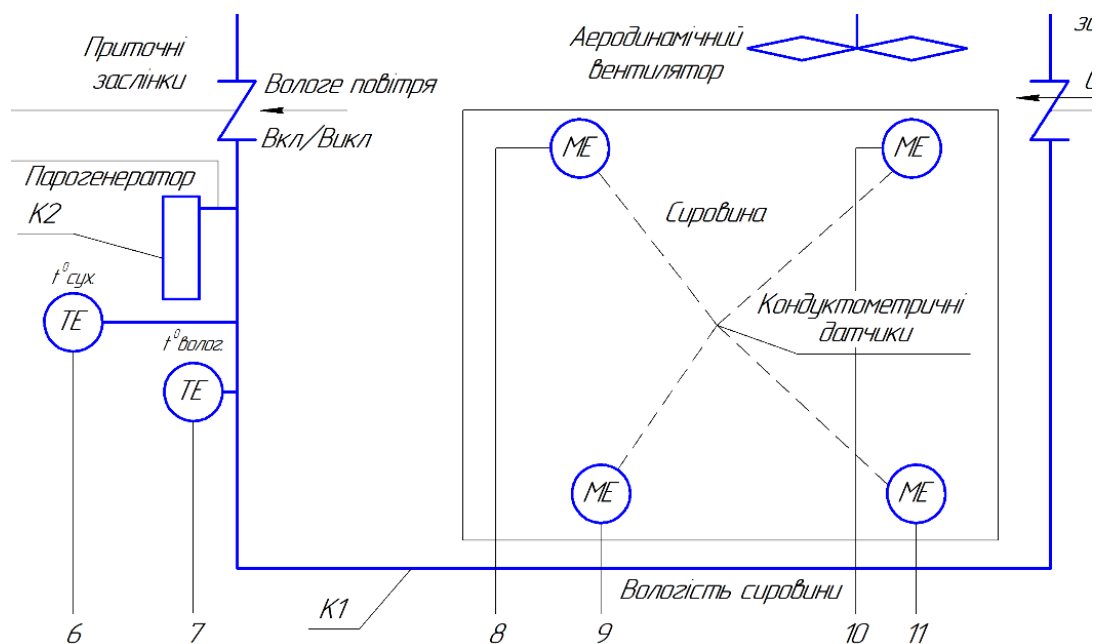


Рисунок 5.3 – Регулювання вологості в сушильній камері K2 – парогенератор

ME (8, 9, 10, 11) датчики вологості в сушильній камері.

5.1.4 Технологічний контроль параметрів і технологічний захист

5.1.4.1 Технологічний контроль фізичних параметрів

Технологічний контроль здійснюється з допомогою шафи електроніки АСУ сушильної камери.

Шафа електроніки управління сушильною камерою містить мікропроцесорний контролер (мікро ЕОМ) з рідкокристалічним індикатором і клавіатурою управління, модулі для підключення датчиків і виконавчих пристроїв, модулі управління через силовий шафа.

Шафа електроніки забезпечує:

Контроль:

- сухого і вологого термометра в сушильній камері і температури теплоносія;
- вологості сировини кондуктометричним методом (до 4 точок);
- стану припливно-витяжних заслінок;
- стан дверей і ін. кінцевих датчиків;
- і зберігання контрольованих параметрів з прив'язкою до часу протягом до 2 міс.

Управління через силову шафу виконавчими механізмами сушильної камери.

Відображення на панелі контролера:

- поточної вологості пиломатеріалу (до 4-х точок);
- станів механізмів і датчиків;
- перегляд історії контрольованих параметрів.

Задання параметрів сушки

- типу сировини;
- товщини сировини;
- режиму сушіння;
- початкової і кінцевої вологості сировини;
- ін. технологічних параметрів.

Діагностику:

- датчиків температури;
- включення механізмів;
- наявності 3-х фазного напруги живлення;
- аварійних ситуацій.

Шафа електроніки має інтерфейс RS 485 для підключення до персонального комп'ютера (ПК).

Для підключення до ПК з інтерфейсом RS 232 система може додатково комплектуватися адаптером RS 485/232 (уточнюється при замовленні).

До одного ПК одночасно можуть бути підключені до 16 АСУ Модуль-С2. ПК може перебувати на відстані до 1000 м від сушильних камер і шаф управління.

Програмне забезпечення ПК дозволяє:

- задавати режими сушіння;
- змінювати технологічні параметри сушильної камери;
- контролювати поточні параметри процесу сушіння і стан виконавчих механізмів;
- переглядати, документувати і роздруковувати вибрані параметри процесу сушіння;
- дистанційно, з ПК, управляти виконавчими механізмами і проводити їх діагностику.

5.1.4.2 Технологічний контроль

Шафа силовий призначений для безпосереднього управління, як в ручному, так і в автоматичному режимі, наступними виконавчими механізмами сушильної камери:

- електродвигунами вентилятора (ів) - включення, вимикання і реверсування;
- сервоприводом (становищем) припливно-витяжних заслінок;
- парогенератором зволожувача повітря;

Переклад системи в автоматичний режим здійснюється перемикачем авт. / Ручні. при відповідному положенні (режим авт.) перемикачів управління механізмами. При цьому в автоматичному режимі управління сушильної камерою, при сигналі «Аварія», можливо ручне відключення виконавчих механізмів.

5.1.4 Підбір регулюючої заслонки

Виконавчий механізм повинен відповідати вимогам які визначають сумісну роботу з обраним регулюючим органом, тобто повинен задовольняти вимогам заданих динамічних та статичних характеристик виконавчого пристрою.

Регулюючий орган (РО) вибирається лише на стадії проектування системи регулювання. РО повинен :

- гарантувати лінійну ходову характеристику, тобто сталість коефіцієнта передачі по потужності у всьому діапазоні зміни регульованої величини;
- надавати необхідну швидкість регулювання, обумовлену динамікою системи;
- зберігати рівність між переміщеннями вихідного елемента і робочим ходом затвора регулюючого органу.

УПК - уніфіковані повітряні клапани для систем припливної вентиляції. Розроблено для регулювання обсягів повітря всередині приміщення, монтується безпосередньо в мережу повітропроводів. Регулювання потоку повітря відбувається за рахунок поворотних лопаток, що працюють за типом жалюзі.

Уніфікований повітряний клапан УПК забезпечує регулювання обсягів повітря, що подається всередину приміщення, працює як елемент припливної каналної вентиляції. Пристрої також підходять для роботи з витяжним і рециркуляційним повітрям в будівлях будь-якого типу.

Повітряний клапан УПК має вигляд корпусу з оцинкованої сталі, всередині якого розташовані поворотні лопатки, що функціонують подібно жалюзі. Матеріал лопаток - анодований алюміній. Для з'єднання лопаток використані пластикові шестерні. Кожна лопатка здатна обертатися навколо власної осі. Рухливі елементи міцно закріплені в основній конструкції, для герметизації застосовані гумові ущільнювачі. У комплект клапана входить спеціальна планка для кріплення.

Підбір жалюзійних решіток і повітряних клапанів виконується по допустимій в них швидкості руху повітря w_0 , м / с, яка не повинна перевищувати 6 м / с.

Таблиця 5.1 рекомендованих швидкостей повітря в живому перетині решітки і в шахті, м / с

Розташування припливних і витяжних решіток	Швидкості в живому перетині решітки, м / с		
	механічна вентиляція		природна вентиляція
	кінозали	Решта приміщення	
Припливні решітки в верхній зоні приміщення			
до 3 м від підлоги	2,0-2,5	1,0-4,0	0,5-1,0
вище 4 м від підлоги	3,0-4,0	1,0-4,0	0,5-1,0
При зосередженої подачі в верхню зону приміщення	4,0-5,0	-	-
Припливні решітки в нижній зоні приміщення			
витяжні решітки	3,0-4,0	1,0-4,0	0,5-1,0
повітрязабірні ґрати (Припливна решітка)	3,0-6,0		0,5-1,0
припливні шахти	3,0-6,0		1,0-2,0
витяжні решітки	3,0-6,5		1,0-1,5

Сумарний живий переріз зовнішніх жалюзійних решіток:

$$F_{\text{ж.п}} = \frac{V_{\text{вент}}}{3600 \cdot w_0};$$

При відомому живому перетині $f_{\text{ж.с.}}$, м² однієї решітки STD визначається їх число:

$$n = \frac{F_{\text{ж.п.}}}{f_{\text{ж.п.}}};$$

Число повітрязабірних решіток округляється в більшу сторону. При цьому враховуються можливості їх розміщення в отворах стінки шахти або в зовнішній стіні будівлі.

При виборі габаритних розмірів повітрязабірних отворів слід враховувати, що велика сторона перетину шахти повинні перевищувати ширину повітряного клапана. Коефіцієнт місцевого опору жалюзійних решіток, віднесений до швидкості повітря у фронтальному перерізі, становить 0,9.

5.2 Монтаж додаткового обладнання для модернізації

5.2.1 Необхідна монтажна документація по ТА

Стадія "Робоча документація" (РД) розробляється для виконання монтажних робіт.

В склад РД для монтажу входять:

- робочі креслення, які розробляються у відповідності до вимог нормативних документів;
- паспорт оздоблювальних робіт;
- кошторисна документація;
- специфікація обладнання, виробів та матеріалів;
- опитувальні листи і габаритні креслення на відповідні види обладнання та виробів;
- вихідні вимоги по розробці конструкторської документації на

обладнання індивідуального виготовлення.

При проектуванні об'єктів з особливо складними конструкціями і методами проведення робіт в складі робочої документації розробляються робочі креслення на спеціальні допоміжні споруди та прибудови по додатковому завданню замовника.

Вихідні дані для закордонного обладнання та креслення на обладнання індивідуального виготовлення видаються замовником проектувальнику до початку розробки робочої документації.

Для об'єктів промислового призначення в склад вихідних даних повинні входити також дані про потреби в енергоресурсах, обслуговуючих майданчиках та охороні обладнання.

Робочі креслення, кошторисна документація, специфікація обладнання, виробів та матеріалів, креслення металічних конструкцій, трубопроводів, повітропроводів, а також проектна документація на будівництво об'єктів

передаються замовнику в чотирьох екземплярах.

5.2.2 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведені у таблиці

Таблиця 5.2 – Відомість витрат матеріалів

№ п.п	Найменування матеріалу	Од. вим.	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Повітропроводи					
1	Повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н 400×200мм	м	6,05	4,96	30,09
2	Повітропроводи з оцинкованої сталі класу Н Ø55 мм	м	24,45	3,39	82,88
Арматура на повітропроводах і приладах					
3	Зворотний клапан ККВ125×315 Ø55 мм	шт	1	1,7	1,7
Ізоляційні матеріали					
4	Ізоляція для труб мінераловатою на бітумному сполучному 40мм Ø55 мм	м	24,45	0,05	1,25
Допоміжне обладнання					
5	Вентилятор для випробування НВВ-2-450/71-400Т	шт	1	76	76
6	Перфоратор MAKITA HR 5001С	шт	1	12,5	12,5
7	Електродрель «DEWALT»	шт	1	8,5	8,5

Встановлення відцентрового вентилятора					
Допоміжні матеріали					
8	Стрічка сталева пакувальна, м'яка, нормальної точності 0,7х (20-50) мм	т	0,015	1	0,015

Продовження таблиці 5.2

9	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,017	1	0,017
Встановлення теплообмінника					
Допоміжні матеріали					
10	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,075	1	0,075
11	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42	т	0,00054	1	0,00054
12	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,00022	1	0,00022
Загальна маса допоміжного обладнання 97,107 кг					
Загальна маса всього обладнання 213,53 кг					

5.2.3 Визначення складу і об'єму робіт.

Склад робіт:

1. Доставка деталей до місця монтажу.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводу.
3. Прокладання трубопроводів діаметром 55 мм.
4. Встановлення запірно-регулюючої арматури \varnothing 55 мм.
5. Випробування трубопроводів.
6. Ізоляція трубопроводів діаметром 55 мм.
7. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.

Об'єм робіт:

1. Доставка деталей до місця монтажу. Одиниці вимірювання в тонах.

Загальна вага усіх деталей 213,53 кг (0,213 т). Приймаємо об'єм $V=0,213$ т.

2. Розмітка місць прокладання трубопроводу. Одиниці вимірювання

100 м. Довжина всієї мережі трубопроводу складає $L=25,5$ м. Приймаємо $V = 0,255$ м.

3. Прокладання трубопроводів діаметром 55 мм. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина труб з діаметром 55 мм складає 0,55 м, отже, приймаємо $V=0,055$ м.

4. Встановлення запірно-регулюючої арматури \varnothing 55 мм. Одиниці вимірювання 10 шт. Кількість 1 шт. Отже, об'єм становить $V=0,1$.

5. Випробування трубопроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Об'єм приймається як загальна довжина трубопроводів і становить $V=1,48$ м.

6. Ізоляція трубопроводів діаметром 55 мм. Одиниця виміру 10 м. Загальна довжина трубопроводів, які ізолюють 25 м. $V = 0,25$ м.

7. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина трубопроводів 25 м. $V= 25$ м.

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

Доставка деталей до місць монтажу

Чітка організація доставки повітропроводів і матеріалів до робочих місць здійснює безпосередній вплив на якість монтажу санітарно-технічних систем.

Доставлені на будівельний майданчик прилади групуємо згідно заявочних специфікацій.

Монтаж теплообмінника

В даній схемі використовується теплообмінник ТО-2 Ду=55 мм.

Перед обв'язкою необхідно перевірити правильність установки розміру PP_{max} . Приєднання до портів на притискної плиті повинні мати рухливість

паралельно стяжним шпильок. Повітропроводи і відводи повинні бути знімними і забезпечувати можливість переміщення притискної плити по всій довжині направляючої штанги для чищення і технічного огляду.

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

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

Забороняється приварювати фланці до трубопроводів безпосередньо на теплообміннику.

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

Монтаж відцентрового вентилятора

В даній схемі використовується вентилятор діаметром 760. Для підключення круглих повітропроводів до вентилятора використовується фланець ФВЦ-ВЦУН.

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

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

Монтаж повітропроводів

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

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

Підбір машин, механізмів, пристосувань

Повітропроводи, деталі, конструкції та обладнання для системи завозяться централізовано автомашиною "Scania R 314".

Для пробивання отворів у стіні використовуємо перфоратор «МАКІТА»

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики перфоратора «МАКІТА»

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Потужність	Вт	780
Тип патрона		SDS-Plus
Сила удару	Дж	2,4
Діаметр свердління :	мм	
Сталь		13
Дерево		32
Бетон		24
Рівень шуму	дБ(А)	90
Габарити (ДхШхВ)	мм	370x84x214
Маса	кг	2,6

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики автомашини " Scania R 314"

Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Вантажопідйомність	кг	до 12000
Кількість осей:		
всього	шт	2
ведучих	шт	1
Найбільша швидкість	км/год	85
Шини:		
передні		Michelin 315/60R22.5
задні		
Витрата палива	л/100 км	22,4
Габарити:		
Довжина		6100
Ширина		2300
Висота		1450
Маса	кг	40000

Визначення складу бригад і підбір монтажних інструментів

Склад бригад та середній розряд робітників для виконання монтажних робіт визначається згідно нормативних документів.

Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Четверо робітників, два водія.

Розмітка місць прокладання повітропроводу. 3 монтажників 4 розряду і 3 розряду.

Монтаж теплообмінника ТО-1. Чотири монтажника 4, 3 розряду.

Монтаж теплообмінника ТО-2. Чотири монтажника 4, 2 розряду

Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Два слюсара-сантехніка 5, 3 розряду.

Організація робочих місць та побутових приміщень

До початку монтажних робіт встановлюється готовність будівлі до монтажу повітропроводів, приладів та обладнання.

Приймання об'єктів під монтаж системи відбувається актом встановленої форми, який підписує представник генпідрядника, який виконує будівельні роботи (майстер або виконроб).

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

- змонтувати міжповерхові перекриття і сходові клітини;
- пробити отвори в стінах і в перекриттях підготувати борозди для прокладки повітропроводів;
- оштукатурити інші ділянки стін в місцях встановлення нагрівальних приладів і прокладки повітропроводів;
- підготувати монтажні пройми для переміщення крупно габаритного обладнання, що підлягає монтажу;
- нанести на стінах фарбою відмітки чистої підлоги;
- встановити віконні коробки;
- підвести електричні лінії для підключення механізмів і інструментів;
- забезпечити освітленість робочих місць доступ до них робітників і можливість доставки матеріалів і виробів монтажного обладнання;
- утеплити приміщення взимку при виконанні робіт, заслонити віконні пройми;

– виділити місце для складування матеріалів сантехнічних заготовок і обладнання.

Необхідне складське приміщення для зберігання малогабаритних інструментів, інвентарю.

Монтажне регулювання і здача системи в експлуатацію

Послідовність технологічних операцій при виконанні монтажних робіт.

Монтаж системи виконати в такій послідовності: розмітити місця установки обладнання; розмітити місця установки кріплень; встановити опори та обладнання. Монтаж повітропроводів виконати в такій послідовності: розмітити вісі та встановити підвіски і кронштейни; прокласти повітропроводи, вузли і заготовки по наміченим вісям; приєднати до них обладнання; вивірити та встановити задані уклони; закріпити повітропроводи на опорах та підвісках.

Після виконання всіх монтажних робіт систему піддають випробуванням на справність арматури та інших пристроїв обладнання і на герметичність.

Випробування на герметичність виконують до накладення ізоляції і забарвлення. Випробовують повітропроводи способом відповідно до ГОСТ 3845-82 тиском, що перевищує робоче на 0,5 МПа, але не більше 1 МПа протягом 10 хв.; зниження тиску при цьому допускається не більше ніж на 0,1 МПа.

Випробування системи оформляють актом. Для приймання системи в експлуатацію пред'являють основні документи:

- акти, креслення і документи погоджень на додаткові роботи і зміни, допущені при монтажних роботах;
- акти на приховані роботи;

- акти випробувань окремих елементів (монтажних вузлів, пристроїв, обладнання) з доданням усіх паспортів;
- акти випробувань на герметичність мережі та на ефективність роботи обладнання (насосів, баків, пожежних кранів і т. п.).

Під час приймання перевіряють відповідність монтажу затвердженим проектом і міцність кріплень, наявність ухилів для спорожнення труб, відсутність витоків повітря в арматурі, з'єднаннях, обладнанні, ефективність включення і виключення, роботу автоматизації.

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

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

5.3 Оцінювання ефективності інноваційного проекту

5.3.1 Кошторисна документація

Кошторисна документація до дипломного проекту складена у відповідності ДСТУ Б Д 1.1.1-2013 “Правила визначення вартості будівництва”.

Локальний кошторис на влаштування системи наведений в таблиці 3.1. В локальному кошторисі визначається кошторисна вартість робіт, яка містить в собі прямі витрати та загально виробничі витрати.

Прямі витрати враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій. Вони визначаються шляхом множення визначеного за ресурсними елементними кошторисними нормами (РЕКН) кількості трудових та матеріально-технічних ресурсів на відповідні поточні ціни цих ресурсів. В дипломній роботі визначаються за готовими одиничними розцінками на кожний вид робіт.

Загально виробничі витрати (ЗВВ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт.

Локальний кошторис на влаштування обладнання розрахований в цінах 2019 року на основі (таблиця В1):

- ресурсні елементні кошторисні норми України;
- вказівки для застосування ресурсних елементних кошторисних норм;
- ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів;
- поточні ціни на матеріали та витрати;
- поточні ціни машино-годин;
- поточна вартість людино-годин відповідного розряду робіт;
- поточні ціни на перевезення вантажу для будівництва;
- правила визначення загальновиробничих і адміністративних витрат.

Кошторисна вартість дорівнює $K = 31,072$ тис. грн.

Кошторисна заробітна плата ЗП = 1,3 тис. грн.

Кошторисна трудомісткість $T = 0,064$ тис. люд -год

Вартість матеріалів, конструкцій, обладнання – $K_{обл}=29,034$ тис. грн.

Таблиця 5.5 – Техніко-економічні показники дипломного проекту

Назва показника	Одиниця виміру	Величина показника по дипломному проекті
Кошторисна вартість системи	тис. грн	31,072
Загальна кошторисна трудомісткість на влаштування	тис. люд-год	0,064
Питомі капіталовкладення	грн./м	417
Сукупні витрати праці	люд-дні	1752
Вартість основних будівельних матеріалів	тис. грн	29,034
Витрата труб поліпропіленових комбінованих PPStabiAI PN20	м	2915
Загальна кошторисна зарплата на влаштування системи	тис. грн	304,719

5.4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

У магістерській роботі здійснюється заходи з підвищення енергоефективності та автономності аеродинамічної сушарки. Аеродинамічна сушарка працює при температурі 120-150°C, що виключає небезпеку загоряння осушуваних частинок. Запускається сушарка протягом декількох хвилин, процес сушіння легко керованим і контрольованим.

Сушка матеріалів в аеродинамічній установці забезпечується інтенсивним масо-повітрообміном, який є результатом технічного рішення даного апарату. Також, процес сушіння прискорюється в зв'язку з інтенсивним тертям частинок один об одного в щільному шарі, при русі з високою окружною швидкістю.

Швидкість гарячого повітря щодо часток матеріалу в аеродинамічній сушарці становить 25-28 м/с, що дозволяє сушити деревні і сільськогосподарські відходи, торф, лігнін та інші дрібнофракційні матеріали в компактній конструкції з низькою металоємністю, що займає невеликі виробничі площі. Тривалість сушки і витрата енергії, при сушінні в імпульсному киплячому шарі значно нижче, ніж в вакуум-сушарках. Аеродинамічні сушарки є різновидом сушарок з киплячим шаром. Найбільш поширені однокамерні сушарки безперервної дії.

На оперативно-ремонтний персонал, який здійснює обслуговування технологічного обладнання, зокрема аеродинамічних сушарок, згідно ГОСТ 12.0.003-74 впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні:

- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена вологість повітря у робочій зоні;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;

- недостатня освітленість робочої зони;
 - підвищений рівень шуму на робочому місці;
 - небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
 - підвищений рівень вібрації,
- в) психофізіологічні:
- фізичні перевантаження (статичні)
 - нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Адміністративно-побутові приміщення розташовують з максимальним наближенням до робочих місць, щоб не було зустрічних потоків людей, а також переходів через виробничі приміщення зі шкідливими виділеннями, неопалювані частини будівлі та відкриті простори.

Площа приміщення, де розміщується оперативно-ремонтний персонал становить 85 м^2 , об'єм – 255 м^3 . У приміщенні є 2 вікна шириною 2,3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні працює 5 осіб. Тобто площа на одного працівника складає $16,1 \text{ м}^2$, що повністю відповідає встановленим нормам, згідно ДНАОП 0.00-1.31-99 [2], ДСанПіН 3.3.2.007-98 [3].

Робоче місце – непостійне, оскільки робітник знаходиться тут менше 50% робочого часу.

Схема адміністративно-побутового приміщення для оперативно-ремонтного персоналу зображена на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Схема адміністративно-побутового приміщення

Експлуатацію газопроводів та газового устаткування зерносушарок, що працюють на газоподібному паливі, здійснюють відповідно до вимог Правил безпеки систем газопостачання, затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 15 травня 2015 року № 285, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 08 червня 2015 року за № 674/27119.

Під час експлуатації топків, що працюють на рідкому паливі, перед розпалюванням впевнюються про відсутність підтікання палива в нижній площині. Щозміни перевіряють місця з'єднань паливних комунікацій і провертають рукоятку паливного фільтра на 1-2 оберти для його очищення. Тиск палива в паливопроводі повинен бути в межах 0,1-0,2 МПа (1-2 кгс/см²).

Забороняється розпалювати топки зерносушарок, що працюють на твердому паливі, легкозаймистими речовинами. Дистанційний та місцевий пуск машин, механізмів та топків зерносушарок здійснюють після подання попереджувального звукового сигналу щодо пуску до всіх робочих приміщень.

Обслуговування топків запалювання палива допускається тільки після продувки топки. У передтопковому приміщенні вивішують плакат «Для уникнення вибуху запалювання палива дозволяється після продувки топки протягом часу, передбаченого експлуатаційною документацією». Система автоматики та блокування зерносушарок, що працюють на газоподібному або рідкому паливі, забезпечує виконання цієї вимоги. Перед пуском сушарки

переконуються у відсутності в ній осередків загоряння і стороннього запаху. Пуск сушарки починають після завантаження бункера зерном.

З метою запобігання виникненню протягу забір повітря для спалювання твердого палива та створення теплоносія (теплого повітря) відбувається поза топковим простором. Топки для рідкого чи газоподібного палива мають автоматичну систему, що не допускає: подачі палива в топку при загаслому факелі; розпалювання палива без попереднього запуску вентилятора та продувки топки для вилучення застійних парів палива.

В топках для спалювання рідкого чи газоподібного палива розміщено пристрій для автоматизованого вимкнення доступу палива у випадку згасання факела. Після кожного згасання факела ретельно провітрюють топку для запобігання накопиченню в ній парів палива чи газу, що утворюють вибухонебезпечну суміш. Забороняється залишати працюючу топку без нагляду. Простір топок, в якому відбувається спалювання рідкого чи газоподібного палива, обладнують вибухорозрядними пристроями (клапанами), якщо це передбачено конструкцією зерносушарки та зазначено у паспорті або інструкції заводу-виробника. Паливопроводи, паливна арматура мають бути міцнішими та щільніми. Витікання з них рідкого чи газоподібного палива не допускається. Сумісна їх прокладка чи підвішування з електрокабелем забороняється.

Гарячі конструктивні частини зерносушарок (вентилятори, повітропроводи, стінки топок тощо) покривають теплоізоляцією, якщо це передбачено конструкцією зерносушарки та встановлено у паспорті або інструкції заводу-виробника. Температура зовнішніх поверхонь не повинна перевищувати 45° С. Забороняється відкривати оглядові люки повітропроводів під час роботи вентиляторів через небезпеку опіків теплоносієм.

Конструктивні частини зерносушарок (камери нагріву, шахти, тепловологообмінювачі, повітропроводи тощо) мають бути герметичні і не пропускати агент сушки у робоче приміщення. Двері до відповідних камер шахт зерносушарок щільно зачиняють під час роботи зерносушарок. Конструкція дверей передбачає пристрої, що унеможливають доступ працівників до

зерносушарки під час роботи. Двері відкриваються всередину камери і заблоковані з приводом вентилятора.

Під час роботи сушарки постійно стежать за справним станом випускних механізмів та не допускають їх засмічення. У сушарках з безперервним випуском зерна забороняється затримувати його випуск без попереднього припинення доступу у сушильну камеру теплоносія (агента сушки).

Вантажно-розвантажувальні механізми сушарки очищають від пилу через кожну добу їхньої роботи, якщо інше не передбачено інструкцією виробника сушарки. Проби зерна з гарячих зон зерносушарки відбирають тільки за допомогою спеціальних совків з дерев'яними ручками.

Ліквідацію пошкоджень, завалів і підпорів зерна, а також ремонт та очистку устаткування сушарки, здійснюють за нарядом-допуском тільки після повної її зупинки. Під час перебування працівника у зерносушарці чи нижньому бункері вживають заходів, що унеможливають пуск вентиляторів або доступ зерна. З цією метою вивішуються попереджувальні написи на пусковій апаратурі, а для надання допомоги (за необхідності) поблизу зерносушарки має бути інший працівник.

Відстань між складом зерна та пересувним сушильним агрегатом повинна бути не менше 10 м. Усі стаціонарні і пересувні сушильні агрегати обладнуються автоматичним регулюванням доступу рідкого і газоподібного палива в топкові пристрої та системи регулювання температури теплоносія (агента сушки), що подається в сушильну зону.

Пульти управління зерносушарок надійно заземлюють.

В камерах нагріву та надсушарних бункерах рециркуляційних сушарок, у пристроях для попереднього нагріву зерна, якщо це передбачено конструкцією зерносушарки та встановлено у паспорті або інструкції заводу-виробника, нових та реконструйованих зерносушарок передбачають вибухорозрядні пристрої.

В тепловологообмінювачі рециркуляційних сушарок передбачають датчики рівня зерна з відповідним блокуванням та встановлюють зливні самопливи.

Зберігання палива і мастильних речовин на відстані менше 20 м від сушарки не допускається. Поблизу сушарки встановлюють первинні засоби пожежогасіння відповідно до вимог Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30 грудня 2014 року № 1417, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 05 березня 2015 року за № 252/26697. Дерев'яні споруди повинні бути на відстані від топки і розтопної труби не менше ніж на 5 м.

Електродвигун паливного насоса, що знаходиться під паливним баком, накривають листовим металом для попередження потрапляння на нього палива.

У зерносушарок відкритого типу передтопковий простір має бути з укриттям від атмосферних опадів і вітру, приміщення для працівників, експлуатуючих сушарку, - ізольованим від загазованості і шуму. Приводи зерносушарок відкритого типу та інші їхні механізми необхідно укривати від опадів (якщо це передбачено конструкцією заводу-виробника сушарок).

У випадку виявлення запаху підгорілого зерна негайно вимикається подача палива в топку, зупиняються вентилятори, що подають теплоносій в сушильну камеру, і припиняється випуск зерна із сушарки. Подачу вологого зерна допускається припинити тільки у тому випадку, коли сушарка заповнена зерном. Необхідно виявити та ліквідувати причини появи запаху підгорілого зерна.

5.4.2 Електробезпека

Досліджуване приміщення електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами. Зокрема, в приміщенні використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї

мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки відсутні чинники підвищеної небезпеки.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

1) технічні рішення із запобігання електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустаткування – ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;

2) технічні рішення щодо запобігання електротравмам при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування – захисне заземлення із використанням природних заземлювачів.

Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні, де виконується робота на комп'ютерах, в тому числі на лазерних та світлодіодних принтерах, рекомендується збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів. Не рекомендується носити одяг з синтетичних матеріалів.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення і занулення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірвальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошинування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

5.4.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [16].

Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Робота оператора верстата відноситься до категорії Іб по важкості праці.

Енерговитрати за цією категорією становлять - до 140-174Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 5.6

Таблиця 5.6 - Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При деревообробці виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [18] наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні верстатника

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення [15]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами , які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;

- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

Виробниче освітлення

Природне освітлення

Підприємство знаходиться у Вінницькій області, система природного освітлення цеху деревообробки відноситься до бокової. Характеристика робіт у фарбувальній камері - середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». При боковому освітленні КПО (суміщене) складає 0,9%.

Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N \quad (5.1)$$

де m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,9$ при орієнтації вікон на схід;

Суміщене

$$e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8\%$$

Природне освітлення одностороннє і здійснюється через вікна, які орієнтовані на схід.

Штучне освітлення

Правильна експлуатація установок природного і штучного освітлення відіграє важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні занесені до таблиці 5.8

Таблиця 5.9- Норми освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнювання з фоном	Характеристика фона	Освітленість,	
						Штучне освітлення	
						Комбіноване	Загальне
Середньої точності	Вище 0,5 до 1	IV	в	Середній, малий	Середній, темний	450	200

Для освітлення миючого відділу вибираємо світильники прямого світла ЛПО-02 з двома люмінесцентними лампами. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Виробничий шум

На деревообробному комбінаті джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати - механічний шум.

Шум - це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки - дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Відповідно до [11] рівень звука вимірюється в децибелах

$$L = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{U}{U_0} \right) \quad (5.2)$$

де L - рівень шуму, дБ;

p - звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, 5-10 м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^5$ Па.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум - широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 - Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці).

Таблиця 5.10 - Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях										

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів устаток і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Психофізіологічні фактори

а) Класи умов праці за показниками важкості праці Па:

Загальні енергозатрати організму (кг/м):

Зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт);

При регіональному навантаженні(для чоловіків) - 12 000(40);

При загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) - 40 000(80);

Маса вантажу. Що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи:

При локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60 000;

При регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до30 000;

Статичне навантаження (кг/с):

Двома руками (чоловіки) – до 70 000;

За участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000.

Робоча поза:

Періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни

Нахил тулуба:

Вимушені нахили протягом зміни – 150 разів;

Переміщення у просторі(переходи задля технологічного процесу) – більше 12

б) 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.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) - до 50;

Щільність сигналів (звукові за1 год) - до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80;

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 - більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.5 Розрахунок режиму роботи працівників в умовах радіаційного забруднення

5.5.1 Дія іонізуючих випромінювань на людей

Під впливом іонізуючого випромінювання атоми і молекули живих клітин іонізуються, в результаті чого відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які впливають на характер подальшої життєдіяльності людини.

Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини можна уявити в дуже спрощеному вигляді таким чином. Припустімо, що в організмі людини відбувається нормальний процес травлення, їжа, що надходить, розкладається на більш прості сполуки, які потім надходять через мембрану усередину кожної клітини і будуть використані як будівельний матеріал для відтворення собі подібних, для відшкодування енергетичних витрат на транспортування речовин і їхню переробку. Під час потрапляння випромінювання на мембрану відразу ж порушуються молекулярні зв'язки, атоми перетворюються в іони. Крізь зруйновану мембрану в клітину починають надходити сторонні

(токсичні) речовини, робота її порушується. Якщо доза випромінювання невелика, відбувається рекомбінація електронів, тобто повернення їх на свої місця. Молекулярні зв'язки відновлюються, і клітина продовжує виконувати свої функції. Якщо ж доза опромінення висока або дуже багато разів повторюється, то електрони не встигають рекомбінувати; молекулярні зв'язки не відновлюються; виходить з ладу велика кількість клітин; робота органів розладнується; нормальна життєдіяльність організму стає неможливою.

Специфічність дії іонізуючого випромінювання полягає в тому, що інтенсивність хімічних реакцій, індукованих вільними радикалами, підвищується, й у них втягуються багато сотень і тисячі молекул, не порушених опроміненням. Таким чином, ефект дії іонізуючого випромінювання зумовлений не кількістю поглинутої об'єктом, що опромінюється, енергії, а формою, в якій ця енергія передається. Ніякий інший вид енергії (теплова, електрична та ін.), що поглинається біологічним об'єктом у тій самій кількості, не призводить до таких змін, які спричиняє іонізуюче випромінювання.

5.5.2 Розрахунок режимів радіаційного захисту

Визначимо можливу дозу опромінення оператора в заданих умовах радіаційного забруднення, які будуть працювати у звичайному режимі (2 зміни по 12 год.)

$$D_m = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \left(\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_{\Pi}^3} \right)}{K_{\text{пос}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot \left(\sqrt[4]{13^3} - 1 \right)}{10} = 1,24 \text{ (мР)}, \quad (5.3)$$

де $t_{\Pi}=1$ год. – час початку роботи після радіоактивного забруднення;

$t_k=1+12=13$ год. – час завершення роботи першої робочої зміни після радіоактивного забруднення;

$p_{1.\max}=1,6$ мР/год. – рівень радіації через одну годину після радіоактивного забруднення;

$K_{\text{пос}}=10$ – коефіцієнт послаблення радіації виробничим приміщенням.

Визначимо граничне значення рівня радіації

$$p_{\text{гр}} = \frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot \left(\sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_{\text{п}}^3} \right)} = \frac{0,75 \cdot 10}{1,33 \cdot \left(\sqrt[4]{13^3} - \sqrt[4]{1^3} \right)} = 0,955 \text{ (мР/год)}. \quad (5.4)$$

Оскільки можлива доза опромінення $D_{\text{м}} > D_{\text{доп}}$ ($1,24 > 0,75$) та рівень радіоактивного забруднення $p_{1.\max} > p_{\text{гр}}$ ($1,6 > 0,955$) перевищують допустимі норми, тому робота в режимі 2 зміни по 12 год. неможлива.

Розрахунок режимів радіаційного захисту проведемо в такій послідовності.

Визначаємо час початку роботи першої зміни, для цього знаходимо коефіцієнт α :

$$\alpha = \frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}}}{1,33 \cdot p_{1.\max}} = \frac{0,75 \cdot 10}{1,33 \cdot 1,6} = 3,52. \quad (5.5)$$

Згідно довідникових даних час початку роботи першої скороченої зміни $t_{\text{п}}=1$ год.

Для 1-ї скороченої зміни: $t_{\text{п1}} = 1$ (год),

Час закінчення роботи зміни

$$t_{\text{к1}} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1.\max} \cdot \sqrt[4]{t_{\text{п1}}^3}}{1,33 \cdot p_{1.\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{1^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 7,44 \approx 7 \text{ (год)}$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p1} = t_{k1} - t_{п1} = 7 - 1 = 6 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{m1} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{k1}^3} - \sqrt[4]{t_{п1}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{7^3} - \sqrt[4]{1^3})}{10} = 0,73 \text{ (мР)}.$$

Для 2-ї зміни: $t_{п2} = t_{п1} + t_{p1} = 1 + 6 = 7$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k2} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п2}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{7^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 15,43 \approx 15 \text{ (год)}$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p2} = t_{k2} - t_{п2} = 15 - 7 = 8 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{m2} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{k2}^3} - \sqrt[4]{t_{п2}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{15^3} - \sqrt[4]{7^3})}{10} = 0,732 \text{ (мР)}.$$

Для 3-ї зміни: $t_{п3} = t_{п2} + t_{p2} = 7 + 8 = 15$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k3} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{п3}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{15^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 24,69 \approx 24,5 (\text{год})$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p3} = t_{k3} - t_{п3} = 24,5 - 15 = 9,5 (\text{год}).$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{m3} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \left(\sqrt[4]{t_{k3}^3} - \sqrt[4]{t_{п3}^3} \right)}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot \left(\sqrt[4]{24,5^3} - \sqrt[4]{15^3} \right)}{10} = 0,74 (\text{мР}).$$

Для 4-ї зміни: $t_{п4} = t_{п3} + t_{p3} = 15 + 9,5 = 24,5$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k4} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{п4}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{24,5^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 35,16 \approx 35 (\text{год})$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p4} = t_{k4} - t_{п4} = 35 - 24,5 = 10,5 (\text{год}).$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{m4} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{k4}^3} - \sqrt[4]{t_{п4}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{35^3} - \sqrt[4]{24,5^3})}{10} = 0,742(\text{мР}).$$

Для 5-ї зміни: $t_{п5} = t_{п4} + t_{p4} = 24,5 + 10,5 = 35$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k5} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п5}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{35^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 46,42 \approx 46(\text{год})$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p5} = t_{k5} - t_{п5} = 46 - 35 = 11 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{m5} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{k5}^3} - \sqrt[4]{t_{п5}^3})}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot (\sqrt[4]{46^3} - \sqrt[4]{35^3})}{10} = 0,736(\text{мР}).$$

Для 6-ї зміни: $t_{п6} = t_{п5} + t_{p5} = 35 + 11 = 46$ (год).

Час закінчення роботи зміни

$$t_{k6} = \left(\frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пос}} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п6}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left(\frac{0,75 \cdot 10 + 1,33 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{46^3}}{1,33 \cdot 1,6} \right)^{\frac{4}{3}} = 58,03 \approx 58(\text{год})$$

Тривалість роботи зміни

$$t_{p6} = t_{к6} - t_{п6} = 58 - 46 = 12 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення зміни

$$D_{м6} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \left(\sqrt[4]{t_{к6}^3} - \sqrt[4]{t_{п6}^3} \right)}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 1,6 \cdot \left(\sqrt[4]{58^3} - \sqrt[4]{46^3} \right)}{10} = 0,75 \text{ (мР)}.$$

Згідно проведеного розрахунку роботу в дві зміни на підприємстві можна буде розпочинати через 35 год. після радіоактивного забруднення.

Для захисту працівників в таких умовах роботи доцільно вжити таких додаткових заходів: ввести в дію режими радіаційного захисту; незайнятих на виробництві працівників евакуювати; укрити зміну, що знаходиться на відпочинку в сховищі; забезпечити працівників засобами індивідуального захисту; систематично проводити прибирання у виробничих приміщеннях; провести герметизацію виробничого приміщення та встановити протипилові фільтри у вентиляційну систему; провести йодну профілактику персоналу.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено енергоефективність аеродинамічної сушарки за різними схемами руху теплоносія.

1. Здійснено аналіз літературної і патентної інформації для визначення можливих шляхів зменшення енергоспоживання сушарки САД-14;
2. Аналіз можливих варіантів руху теплоносія показав, що найдоцільнішим варіантом підвищення енергоефективності сушарки САД-14 є робота сушарки від ДВЗ з утилізацією теплоти відхідних газів ДВЗ і встановлення теплообмінника рекуператора для утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія.
3. Числові дослідження на математичній моделі дозволяють більш точно проектувати допоміжне обладнання для модернізації існуючих аеродинамічних сушарок.
4. Тепловий розрахунок сушарки САД-14 з РНУ показав, що теплова потужність необхідна для роботи сушарки складає 162 кВт. Витрата повітря при цьому 19222 кг/год.
5. Для підвищення енергоефективності роботи сушарки запропоновано компактний пластинчастий теплообмінник рекуператор з площею теплообміну 214,4 м³ і оребрений трубчастий теплообмінник для утилізації теплоти відхідних газів площею 3 м².
6. Розроблено заходи з охорони праці для безпечної роботи сушарки.
7. Оцінювання ефективності інноваційного проекту показало, що вартість матеріалів, конструкцій і обладнання для модернізації складає 29,034 тис. грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тевис П.И. Рециркуляционные установки аэродинамического нагрева / П.И. Тевис, В.А. Ананьев, Е.Г. Шадек. – М. : Машиностроение, 1986. – 205 с.
2. Сушилка аэродинамическая. http://www.lugakamen.ru/menyu/oborudovanie/sushilka_aehrodinamicheskaya.html. Дата звертання 3.05.2018.
3. Аэродинамическая сушильная камера. <https://sushilnye-kamery.ru/blog/sushilnaya-kamera-dlya-pilomaterialov-svoimi-rukami/aerodinamicheskaya-sushilnaya-kamera-svoimi-rukami/> Дата звертання 5.05.2018.
4. Співак О. Ю. Математичне моделювання процесу сушіння цегли / О. Ю. Співак, І В. Фіник, П. С. Коба // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2016. – №2. – С. 29–34.
5. Співак О. Ю. Експериментальні дослідження процесу сушіння червоної цегли-сирцю / О. Ю. Співак, М. М. Попович, І. В. Фіник, П. С. Коба // Materials of XIII International research and practical conference 30 April - 07 May 2017 / Sheffield, UK. - P. 29-33.
6. Аэродинамические сушильные камеры. <http://pkf-irbis-32.ru/aerocam.html> Дата звертання 5.05.2018.
7. Цыбин И. Н., Аэродинамическая сушильная камера для пиломатериала или другого продукта. – Патент России № RU 2296281, F26B9/06 опубл. 19.06.2012.
8. Гальчинецька Ю. Л. Сушарка для рослинної сировини. – Патент України № 19416 UA F26B9/00, опуб. 15.12.2006, бюл. Промислова власність, № 12, 2006 р.
9. Дыбан Е. П. Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел / Е. П. Дыбан, А. И. Мазур. – К. : Наукова думка, 1982. – 300 с.
10. Барсуков С. И. Вихревой эффект Ранка / С. И. Барсуков, В. И. Кузнецов. – Иркутск, изд. Иркутского университета. 1983. – 120 с.
11. Лыков В. М. Сушка в химической промышленности / В. М. Лыков. М.: Энергия, – 1970. – 456 с.
12. Лебедев П. Д. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий

- / П. Д. Лебедев, А. А. Щукин. М.: Энергия, – 1970. – 356.
13. Левченко Б. А. Тепло – масообменные аппараты и установки / Б. А. Левченко. Харьков: ХГПУ, – 1999. – 387 с.
14. Гинзбург А. С. Основы теории и техники высушивания пищевых продуктов / А. С. Гинзбург. М.: Пищевая промышленность, – 1973. – 527 с.
15. Чернобыльский И. И. Сушильные установки химической промышленности / И. И. Чернобыльский, Ю. М. Танайко. К.: Техніка, – 1969. – 279 с.
16. Патент України №29962. Сушильна шафа / [І. Г. Мельник, О. Ю. Співак, В. І. Соболев, М. О. Співак]. заявн. і патентовл. ТОВ "Компанія "Технопром-Продукт", заяв. 16.04.2007, - №200704163, опубл. 11.02.2008. – бюл №3.
17. Патент України №71120А. Пристрій для сушіння / [І. Г. Мельник, О. Ю. Співак, С. І. Мельник]. заявн. і патентовл. ТОВ "Компанія "Технопром-Продукт", заяв. 14.08.2003, - №2003087725, опубл. 15.11.2004. – бюл №11.
18. Патент Росії №2327935. Установка для сушки древесины / [В.А. Лашков, С.Г. Кондрашева, Л.Г. Голубев, Д.А. Газизова, Д.А. Казанцева]. заяв. і патентовл. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный технологический университет, заяв. 25.10.2006, - 27.06.2008.
19. Патент Росії №2379603. Установка для сушки древесины / [В.А. Лашков, С.Г. Кондрашева, Л.Г. Голубев, Д.А. Хамидуллина, Д.А. Казанцева, С.М. Михайлова]. заяв. і патентовл. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный технологический университет, заяв. 09.10.2008, - 20.01.2010.
20. Патент Росії №2215251. Конвективная камерная сушка / [А.А. Федяев, В.Н. Федяева, О.Л. Данилов]. заяв. і патентовл. Братский государственный технический университет, заяв. 06.02.2002, - 27.10.2003.
21. Патент України №79365. Рециркуляційна установка аеродинамічного нагріву / [І.В. Коц, О.П. Колісник, С.А. Богатчук]. заяв. і патентовл. Вінницький

національний технічний університет, заяв. 20.08.2012, - №201209981, опбл. 25.04.2013. – бюл №8.

22. Патент Росії №974050. Підвищити ступінь очищення повітря / [Н.Э. Сенькевич]. заяв. і патентовл. Сенькевич Наталья Эдуардовна, заяв. №3290727 08.05.1981, - 15.11.1982.

23. Ключев А. С. Автоматическое регулирование / А. С. Ключев. М.: Энергия, – 1967. – 344 с.

24. ДСН 3.3.6.042-99. ”Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.

25. ДБН В.2.5-28-2006. ”Природне і штучне освітлення”.

26. ДСН 3.3.6.037-99. ”Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”.

27. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98). ”Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

28. Всероссийская конференция «Состояние и перспективы развития крупных предприятий и организаций агропромышленного комплекса». Сб. материалов. –М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 221 с.

29. Волхонов М. С. Зависимость смещения слоёв зерна в сушильных коробах аэрожелобной зерносушилки от конструктивных и технологических факторов

30. Механизация и электрификация сельского хозяйства. - № 10-2007. – С.12-13.

Исаченко В. П. Теплопередача / Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

31. Гольдяпин В. Я. Механизация послеуборочной обработки зерна: Сер. «Б-чка фермера». Гольдяпин В. Я., Стружкин Н. И. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – 76 с.

32. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. Б.Х. Драганов - М.: Агропромиздат, 1990. – 463 с.

33. Каталог вентиляторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ventst.ru/katalog>.
34. Аэродинамический расчет котельных установок (норматичный метод). Под ред. С. И. Мочана. – Изд. 3-е. – Л.: Энергия, 1977. -256 с.
35. Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур (Практическое руководство) . – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 96 с.
36. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Под общ. Ред. Г.Е. Листопада. – М.: Колос, 1973. – 752 с.
37. Каталог вентиляторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ventst.ru/katalog>
38. Кук, ЕМ та DuMont, HD (1991) *Практика сушіння процесів* , McGraw Hill, Нью-Йорк. DOI: [10.1080 / 07373939208916454](https://doi.org/10.1080/07373939208916454)
39. Кеу, RB (1978) *Вступ до промислових операцій з сушіння* , Пергамон, Оксфорд.
40. Кеу.RB (1992) *Сушка сипучих і зернистих матеріалів, півкулі*, Нью - Йорк. DOI: [10.1080 / 07373939208916507](https://doi.org/10.1080/07373939208916507)
41. Кемп, IC (1994) *Новий алгоритм для вибору сушарки* , Прос. 9-й Інтернат. Сушильний симп., Голд-Кост, 1-4 серп.
42. Sloan, CP (1967) *Сушильні системи та обладнання* , Хім. Англ., 74 (14), 169-200.
43. Arinze EA, Sokhansanj S, Schoenau GJ, Trauttmans Dorff FG (1996) Experimental evaluation, simulation and optimization of a commercial heated-air batch hay drier. J Agric Eng Res 63:301–314
44. Jokic S, Velic D, Bilic M, Lukinac J, Planinic M, Kojic AB (2009) Influence of process parameters and pre-treatments on quality and drying kinetics of apple samples. Czech J Food Sci 27(2):88–94
45. Бретт А., Кокс DRS, Трим Д.С., Симмонс Р., Ансти Г. (1996) Производство фруктов и овощей для развития микро- и малых сельских предприятий, справочник 2: строительство сушилок. Университет Гринвича, Великобритания

46. Gorling, P.: Wärmewirtschaft in Gemüseverarbeitungsbetrieben, Die industrielle Obst-und Gemüseverwertung 3 (1950) im Druck.
47. Görling, P.: Fortschritte im Trocknerbau, Verfahrenstechnik **4**, 127 (1940).

ДОДАТКИ

Додаток А (обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри ТЕ

_____ С. Й. Ткаченко

16 листопада 2019 року

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА АВТОНОМНОСТІ

АЕРОДИНАМІЧНОЇ СУШАРКИ

за спеціальністю 144 – теплоенергетика

08-11.МКР.006.00.00.000 ТЗ

Керівник бакалаврської роботи

_____ к.т.н., доц. Співак О. Ю.

15 листопада 2019 р.

Розробив студент гр. ТЕ-11

_____ Коба П.С.

15 листопада 2019 р.

Вінниця ВНТУ 2019

1 Найменування та область застосування

Підвищення енергоефективності та автономності аеродинамічної сушарки стосується сільського господарства зокрема первинної переробки с/г продукції. Робота спрямована збільшити автономність та підвищити енергоефективність сушарки.

2 Основа для виконання робіт

Основою для виконання робіт є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, вихідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми МКР №254 від 02.10.2019 р.

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є параметри теплоносія в сушильній камері сушарки, а також нормативні дані по необхідних параметрах, наведених в інших теплоенергетичних джерелах:

- 3.1 Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки/ С. Й. Ткаченко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ. 2008.-98 с.
- 3.2 Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі / О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 112 с.
- 3.3 Патент України. Сушильна шафа. – U200704163.– 16.04.2007. – F26B9/06. – №29962, опубл. 11.02.2008. – бюл.№3.
- 3.4 Патент України. Пристрій для сушіння. – U200387725. – 14.08.2003. – F26B9/06. – №71120А, опубл. 15.11.2004. – бюл. №11.
- 3.5 Патент України. Пристрій для сушіння. – U200608145. – 20.07.2006. – F26B9/06. – №20276, опубл. 15.01.2007. – бюл. №1.
- 3.6 Патент України. Сушильна камера. – U190041958. – 07.04.1999. – F26B9/06. – №32327, опубл. 15.12.2000. – бюл. №7 – II.
- 3.7 Патент України. Сушильнашафа. – U2001031697. – 13.03.2001. – F26B9/06. – №49170А, опубл. 16.09.2002. – бюл. №9.

4 Мета та призначення розробки

Підвищення енергоефективності та автономності аеродинамічної сушарки, з метою зменшення її енергоспоживання.

5 Технічні вимоги

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

6 Економічні показники

Проаналізувати декілька варіантів роботи теплових схем аеродинамічної сушарки САД – 14 на підставі техніко-економічних розрахунків вибрати оптимальний варіант.

7 Заходи з енергозбереження

7.1 Автоматичне регулювання основних параметрів роботи сушарки _____.

7.2 Встановлення додаткового теплотехнічного обладнання для утилізації теплоти відпрацьованих теплоносіїв.

8 Вимоги до стандартизації та уніфікації

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

9 Вимоги з надійності

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

10 Стадії і етапи розробки

10.1 Загальна характеристика об'єкту дипломного проектування.

10.2 Техніко-економічне обґрунтування доцільності підвищення енергоефективності сушарки _____.

10.3 Математична модель _____.

10.4 Технологічна частина.

10.5 Організаційно – технологічне забезпечення реалізації проектних рішень

11 Порядок контролю і прийому розробки

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

Додаток Б

Таблиця Б1 – Результати математичного моделювання

Найменування	Позначення	Значення				
Температура мокрого термо- метра, °С	Tm	31	31	31	31	31
		304	304	304	304	304
Температура мокрого термо- метра, °С	Tc	89	89	89	89	89
		362	362	362	362	362
Теплота паро- утворення кДж/кг	r	2369	2369	2369	2369	2369
Парціальний тиск в середо- вищі, Па	Pc	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Парціальний тиск на повер- хні випарову- вання, Па	Pп	3	3	3	3	3
Час процесу, год	τ	36000	36000	36000	36000	36000
Площа одного піддона, м ²	f	1	1	1	1	1
Визначальний розмір піддона, м	l*	1	1	1	1	1

Продовження таблиці Б1

Кінематична в'язкість повітря, м ² /с	ν	1,72E-05	1,72E-05	1,72E-05	1,72E-05	1,72E-05
Молярна маса водяної пари, кг/моль	μ	18	18	18	18	18
Кількість піддонів, шт.	n	100	100	100	100	100
Активна площа випаровування, м ²	F	100	100	100	100	100
Інтенсивність випаровування	l	3,2E-04	3,2E-04	3,2E-04	3,2E-04	3,3E-04
Газова стала водяної пари	R_p	461,89	461,89	461,89	461,89	461,89
Коефіцієнт масообміну, віднесений до перепаду концентрацій	β_c	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02
Коефіцієнт дифузії для температурного сушіння	D_c	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05	2,7E-05
Критерій Шервуда	Sh	7,7E+02	7,7E+02	7,7E+02	7,8E+02	7,8E+02
Критерій Шмідта	Sc	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63

Продовження таблиці Б1

Критерій Гухмана	G_u	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Критерій Рейнольдса для масообміну	Re	2,6E+05	2,6E+05	2,6E+05	2,6E+05	2,6E+05
Критерій ефективності	ψ	0,389	0,389	0,49	0,37	0,55
Швидкість повітря над сировиною	w	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5
Коефіцієнт масовіддачі, віднесений до різниці парціальних тисків	β_p	1,5E-07	1,5E-07	1,5E-07	1,5E-07	1,5E-07
Кількість випаруваної вологи	W	1151	1155	1160	1165	1170

Таблиця В1 - Локальний кошторис на будівельні роботи

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 31,072 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0,064 тис. люд.-год.
Кошторисна заробітна плата 1,300 тис. грн.
Середній розряд робіт 3,2 розряд

Складений в поточних цінах станом на 20.09.2019

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E20-1-10	Прокладання повітроводів із листової сталі класу Н [нормальні] товщиною 0,7 мм, периметром від 1100 до 1600 мм	100м2	0,0726	<u>21676,04</u>	<u>87,01</u>	1574	285	6	<u>207,4</u>	<u>15,06</u>
					3932,30	27,99				2	1,6753
2	E20-1-1	Прокладання повітроводів із листової сталі класу Н [нормальні] товщиною 0,5 мм, діаметром до 200 мм	100м2	0,0998	<u>21626,61</u>	<u>109,11</u>	2158	495	11	<u>261,8</u>	<u>26,13</u>
					4963,73	34,88				3	2,0876
3	E20-13-1	Установлення клапанів зворотних діаметром до 355 мм	клапан	1	<u>4317,36</u>	<u>1,43</u>	4317	34	1	<u>1,75</u>	<u>1,75</u>
					33,58	0,44				-	0,0266
4	E26-30-2	Теплоізоляція для труб мінераловатою на бітумному сполучному 40мм	м3	0,33	<u>1122,50</u>	<u>75,58</u>	370	116	25	<u>17,49</u>	<u>5,77</u>
					352,25	23,54				8	1,4098
5	E20-35-1	Установлення теплообмінник ТО-2	шт	1	<u>21774,76</u>	<u>33,67</u>	21775	153	34	<u>8,28</u>	<u>8,28</u>
					153,01	8,38				8	0,4886
		Разом прямі витрати по кошторису					30194	1083	<u>77</u>		<u>56,99</u>
									21		1,32

Продовження таблиці В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі:					30194				
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					29034				
		всього заробітна плата, грн.					1104				
		Загальновиробничі витрати, грн.					878				
		трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.					6,04				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					196				
		Всього будівельні роботи, грн.					31072				
		Всього по кошторису					31072				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					64				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					1300				

Склав

посада, підпис (ініціали, прізвище)

Перевірив

посада, підпис (ініціали, прізвище)