Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка
до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему:

«Модернізація теплової схеми сушарки псевдокиплячого шару КЦС-2000»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-23мс
спеціальності 144 – теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)

_____ Таранюк К.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф.ТЕ
_____ Співак О. Ю.
(прізвище та ініціали)
«____»_____2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМГА
_____ Попович М.М.
(прізвище та ініціали)
«____»_____2025 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри ТЕ

к.т.н., доц. Степанов Д.В.
«____»_____2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ
Степанов Д.В.
25 березня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Таранюку Костянтину Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи «**Модернізація теплової схеми сушарки псевдокиплячого шару КЦС-2000**»
керівник роботи *Співак Олександр Юрійович, к. т. н.,доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *20 березня 2025 р. № 97*
2. Термін подання студентом роботи *05.06.2025*
3. Вхідні дані до роботи: *продуктивність за висушеним матеріалом Gк = 5,56 кг/с; вміст фракцій частинок у матеріалі діаметром від 2,5 до 1,5 мм – 30 %, діаметром від 1,5 до 0,2 мм – 70 %; вологість цукрового піску: початкова $\omega_п$ = 12%; кінцева $\omega_к$ =0,5%; температура вологого матеріалу ϑ_1 = 18 °С; параметри свіжого повітря: температура t_0 = 18 °С, відносна вологість φ_0 = 72%; тиск у сушарці атмосферний; температура повітря після калорифера t_1 = 130 °С; питомі втрати теплоти в довкілля на 1 кг випаруваної вологи прийняти $q_п$ = 22,6 кДж/кг.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: *аналіз літературних і патентних джерел; розрахунок сушарки КЦС-2000; багатоваріантний аналіз; розрахунки допоміжного обладнання; охорона праці; висновки; додатки.*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): *сушарка киплячого шару КЦС-2000; топка теплогенератора на соломі потужністю 500 кВт; циклон СЦН-40; монтаж збірки циклонів; схема монтажна аксонометрична;*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	к.т.н., доц. Співак О.Ю.	25.03.25	6.06.25
Охорона праці	к.пед.н., проф. Кобилянська І.М.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Боднар Л.А.		

7. Дата видачі завдання 25.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Прим.
		початок	закінчення	
1.	Аналіз літературних та патентних джерел	25.03.2025	28.03.2025	
2.	Розрахунок сушарки псевдокиплячого шару КЦС-2000	29.03.2025	05.04.2025	
3.	Багатоваріантний аналіз	05.04.2025	10.04.2025	
4.	Розрахунки допоміжного обладнання	11.04.2025	25.04.2025	
4.1	Розрахунок топки на вугіллі	26.04.2025	15.05.2025	
4.2	Розрахунок очисного обладнання	16.05.2025	20.05.2025	
4.3	Розробка монтажних робіт	21.05.2025	25.05.2025	
5.	Охорона праці	26.05.2025	01.06.2025	
7.	Оформлення висновків по роботі	02.06.2025	04.06.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	02.06.2025	04.06.2024	
9.	Перевірка на антиплагіат	05.05.2025	06.06.2025	
10.	Нормоконтроль	06.06.2025	06.06.2025	
11.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	06.06.2025	11.06.2025	
12.	Захист БДР ЕК	12.06.2025	12.06.2025	

Студент _____ Таранюк К.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Співак О.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33.221

Таранюк К.Ю. Модернізація теплової схеми сушарки псевдокиплячого шару КЦС-2000. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма - Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025. 68 с.

Бібліогр.: 67 назв; рис.: 8; табл. 16.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто роботу сушарки псевдозрідженого шару на різних видах альтернативного твердого біопалива, а саме: вугілля марки Д, Львівсько-Волинського басейну; соломи пшеничної рулонної; відходів деревини; енергетичної верби та виконане порівняння їх вартості з вартістю природного газу.

Складено тепловий та матеріальний баланс сушарки, розраховано теоретичний та дійсний процеси в сушарці.

Розраховано топку для вибраного виду палива.

Розраховано пристрій для очищення відпрацьованого теплоносія від цукрового пилу.

Розраховано необхідний переріз повітропроводів для монтажу додаткового обладнання.

Розроблено заходи з монтажу додаткового обладнання для модернізації сушарки.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дії на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо покращення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: сушіння, сушарка, альтернативне тверде паливо, сушильний процес.

ABSTRACT

Taranyuk K.Yu. Modernization of the thermal scheme of the pseudo-fluidized bed dryer KTS-2000. Bachelor's qualification work in the specialty 144 - Thermal power engineering, educational program - Thermal power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 68 p.

Bibliography: 67 titles; Fig.: 8; Table. 16.

The bachelor's qualification work considers the operation of a pseudo-fluidized bed dryer on various types of alternative solid biofuels, namely: coal grade D, Lviv-Volyn basin; wheat straw roll; wood waste; energy willow and compares their cost with the cost of natural gas.

The heat and material balance of the dryer is compiled, the theoretical and actual processes in the dryer are calculated.

The furnace is calculated for the selected type of fuel.

A device for cleaning the spent coolant from sugar dust has been calculated.

The required cross-section of air ducts for the installation of additional equipment has been calculated.

Measures have been developed for the installation of additional equipment for the modernization of the drying layer.

The labor protection section has worked out such issues as the causes of occurrence, effects on the human body and the standardization of harmful and dangerous production factors in the production room; a map of working conditions (justification of the choice of standard values of harmful and dangerous production factors, assessment of production and labor process factors, hygienic assessment of working conditions, assessment of the technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, and fire safety standards have also been considered.

Key words: drying, dryer, alternative solid fuel, drying process.

ЗМІСТ

ВСТУП **4**
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ І ПАТЕНТНИХ ДЖЕРЕЛ **6**
1.1 Огляд літературних джерел 6
1.1.1 Сушарки для сушіння цукру в псевдозрідженому шарі 6
1.2 Принцип роботи сушарки КЦС-2000 8
2 РОЗРАХУНОК СУШАРКИ КЦС-2000 ..... **9**
2.1 Матеріальний баланс установки 9
2.1.1 Початкові дані для розрахунку 9
2.1.2 Матеріальний баланс 9
2.2 Тепловий баланс сушарки 10
2.2.1 Параметри відпрацьованого повітря 10
2.2.2 Тепловий баланс 12
2.3 Конструктивний розрахунок сушарки 14
2.4 Аеродинамічний розрахунок сушильної лінії 21
2.4.1 Аеродинамічний опір сушарки 21
2.4.2 Аеродинамічний опір повітропроводів 22
3 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ **25**
3.1 Способи покращення енергозбереження в сушарці 25
3.2 Аналіз придатності способів підвищення енергозбереження 25
3.2.1 Встановлення теплообмінника-рекуператора. 25
3.2.2 Використання енергозберігаючої схеми організації руху теплоносія 26
3.2.3 Застосування сучасних засобів автоматизації процесу 26
3.2.4 Оптимізація технологічних параметрів процесу сушіння 26
3.2.5 Використання місцевого альтернативного виду палива 26
4 РОЗРАХУНКИ ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ **29**
4.1 Топка на пшеничній соломі 29
4.1.1 Дані для розрахунку 29
4.1.2 Об’єми повітря та продуктів згорання 29
4.1.3 Ентальпії повітря і димових газів 31
4.1.4 Тепловий баланс і витрата палива 32
4.1.5 Перевірний розрахунок топки 32
4.1.6 Тепловий розрахунок топки 34
4.2 Розрахунок очисного обладнання 37
4.2.1 Вибір типу циклона 37

4.2.2 Початкові дані для розрахунку циклона СЦН-40 37
4.2.3 Параметри газу (відпрацьованого теплоносія) 38
4.2.4 Вибір кількості циклонів в батареї і розрахунок діаметра 39
4.2.5 Гідравлічний опір циклона 40
4.2.6 Ефективність циклона 41
4.2.7 Розрахунок гідравлічного опору циклонної батареї 42
4.3 Монтаж допоміжного обладнання 43
4.3.1 Загальна характеристика об'єкта, що підлягає монтажу 43
4.3.2 Розрахунки та комплектація основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей 44
4.3.3 Визначення складу і об'ємів робіт 46
4.3.4 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт 48
5 ОХОРОНА ПРАЦІ 50
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта 50
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць 50
5.1.2 Електробезпека 51
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії 53
5.2.1 Мікроклімат 53
5.2.2 Склад повітря робочої зони 54
5.2.3 Виробниче освітлення 55
5.2.4 Виробничий шум 55
5.2.5 Виробничі вібрації 56
5.3 Пожежна безпека 57
ВИСНОВКИ 60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 61
ДОДАТКИ 68
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень 69
Додаток Б (обов'язковий) Технічне завдання 70
Додаток В (обов'язковий) Графічна частина 74
Додаток Г (довідниковий) Процес в h-d діаграмі 85
Додаток Д (довідниковий) Лістинг програми для розрахунку варіантів видів палива 86
Додаток Е (довідниковий) Тепловий баланс топки 88

ВСТУП

Основною технологічною операцією із доведення цукру до стійкого для зберігання стану є сушіння. Існує досить значна кількість різних конструкцій сушарок для сушіння цукру-піску, які нібито й задовольняють поставлені до них вимоги, але в той же час є не зовсім досконалими. В таких сушарках найчастіше висушування цукру є нерівномірним, сам процес сушіння задовгий і, в результаті, можливе погіршення поживних властивостей готової продукції [1,2].

Досить перспективним напрямом сушіння цукру є конструкції сушарок із «киплячим» (псевдозрідженим) шаром частинок. Суть такого способу сушіння в тому, що вихідна сировина, яку необхідно сушити, за допомогою потоків газу приводиться до псевдозрідженого стану. Характеристики газового потоку крізь решітку (швидкість і динамічний тиск) підбирають так, щоб матеріал на решітці перебував у «киплячому» (завислому) стані [3].

У киплячому стані кожну часточку омиває потік гарячого теплоносія, і це забезпечує надійний контакт цукрової маси з сушильним агентом.

У таких сушарках можна досягати значної інтенсивності сушіння й створити можливості для регулювання тривалості перебування матеріалу на решітці. Інтенсивний теплообмін між агентом сушіння та цукром є характерною особливістю сушіння в псевдозрідженому шарі. Зі зростанням температури теплового агента швидкість сушіння різко збільшується. Наприклад, при збільшенні температури від 60 до 140 °С в 2,5 рази може зрости швидкість сушіння, а час прогрівання цукру скорочується в чотири рази. Сушіння цукру методом псевдозрідженого шару може забезпечити його рівномірне нагрівання за повного використання потенціалу сушіння сушильного агента [4-6].

Мета бакалаврської кваліфікаційної роботи – розрахунок сушарки киплячого шару для процесу сушіння цукру, розрахунок джерела теплоти та комплектуючого обладнання.

Щоб досягти даної мети потрібно було розв’язати такі завдання:

– здійснити аналіз можливості використання місцевих видів

альтернативного твердого біопалива для генерації теплоти топкою, що використовується для сушіння;

- визначити к.к.д. сушарки, та витрату палива;
- зробити розрахунки допоміжного обладнання;
- забезпечити заходи з охорони праці.

Об’єкт дослідження : тепломасообмінні процеси при сушінні кристалічних матеріалів.

Предмет дослідження: сушарка псевдокиплячого шару КЦС-2000 для сушіння цукру-піску.

Апробація результатів роботи: окремі результати доповідались на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025).

Публікації : Співак, О., П'ятак, А., Таранюк, К. (2025). Вплив відносної вологості оточуючого повітря на термічний опір багатошарової стіни. В ВНТКП ВНТУ. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії. Отримано з https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23675 . Дата звернення 30.05.2025 [7].

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ І ПАТЕНТНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Огляд літературних джерел

1.1.1 Сушарки для сушіння цукру в псевдозрідженому шарі

Для сушіння цукру-піску використовують сушильні апарати пневматичного, аерофонтанного типу, барабанні сушарки, а також сушарки псевдозрідженого шару.

Сушильний комплекс із пневмосопловою сушкою СК-1000 призначений для сушіння сипучих матеріалів фракцією до 3,5 мм [8]. Технічні характеристики: продуктивність 1000 кг/годину; номінальна електрична потужність 20,2 кВт; напруга електроживлення трифазна 380 В, 50 Гц; довжина 5800 мм; ширина 1300 мм; висота 5500 мм; вага 1800 кг.

Сира сировина, яку необхідно висушити, подається через вікно подачі сировини в розгінну трубу, де за рахунок розрідження, створюваного вентилятором сушіння, сировина та гази всмоктуються в сушарку. Тут вони рухаються в тангенціально закрученому потоці, при цьому відбувається інтенсивний вологообмін між вологою сировиною та газами. У камері утворюється парова суміш. Через труби Вентурі в середній частині сушильної камери парова суміш разом з сировиною виноситься в активний циклон. Тут відбувається відокремлення сухої сировини від парової суміші. Парова суміш за допомогою витяжного вентилятора викидається в атмосферу. Суха сировина в активному циклоні, відокремившись від парогазової суміші, опускається на дно циклона. У нижній частині циклону є шлюз вивантаження. Лопатками шлюзу вивантаження, що приводиться в рух мотор-редуктором і електродвигуном, суха сировина вивантажується з циклона і надходить далі на технологічну лінію. Сушильний комплекс СК-1000 призначений для роботи у складі таких технологічних процесів, в яких режим роботи є досить тривалим та експлуатації в районах з помірним і холодним кліматом [8, 9].

Сушильно-холодильна установка СПС–20. Апарат має призматичний корпус, який виготовлений з листової сталі. Корпус розділений всередині

перегородками, в результаті чого в ньому є сушильна і охолоджувальна камери. У нижній частині охолоджувальної камери розташовуються грати. Вони встановлені один над одним. Верхні - використовуються як підтримуючі елементи для цукру, що переміщується. Знизу розташовуються решітки, через які повітря, що нагнітається вентиляторами під шар продукту, розподіляється більш рівномірно.

На кінцевій частині підтримуючої решітки, яка розташовується в сушильній камері, знаходиться секторний шибер. Він призначений для зміни товщини шару цукру, що знаходиться в псевдозрідженому стані. Ця величина може становити від 25 до 45 см. Крім того, через нього можна прибрати з камери цукрові грудки. Якщо шибер встановити вертикальне положення, то утворюється простір між самим шибером і гратами. Через це простір грудки падають в камеру.

Установка для сушіння в киплячому шарі СПС–20 має затвор, через який завантажують цукор. Затвор з'єднаний з трубою. Цей шлюзовий затвор дозволяє досягти повної герметичності в момент завантаження сировини. Цукор транспортується решіткою в сушильній камері завдяки потоку нагрітого повітря. Це повітря подається під ґрати з тиском 250 - 350 Па. Зміна положення шибера дозволяє скоригувати час перебування цукру в камері. Завдяки тому, що повітря подається саме з таким тиском, процес просушування протікає інтенсивно [10,11].

Сучасним аналогом сушарки СПС–20 є конвективна сушарка з киплячим шаром вібраційна СККСВ-600-1М.

Технічні дані: продуктивність за випаруваною вологою 600 кг/год; площа перфорованого листа 82 м^2; температура повітря на сушіння 160 °С; потужність електроустаткування 25 кВт; довжина 8560 мм, ширина 1574 мм, висота 2470 мм.

СККСВ-600-1М складається: з основного корпусу та вібруючого сита кільцевого типу в комплекті з віброприводом; системи розподілу гарячого повітря; системи розподілу холодного повітря; трубопроводу збору використаного повітря та з'єднання з циклонним сепаратором, що виготовлений з нержавіючої сталі AISI 316L з регулювальною засувкою та фланцевими з'єднаннями; є система рекуперації пилу з трубопроводами з нержавіючої сталі AISI 316С, нагнітальним вентилятором,

з фільтром повітря для направлення пилу в атомізатор [12,13].

1.2 Принцип роботи сушарки КЦС-2000

Теплова функціональна схема показана на рисунку 1.1.

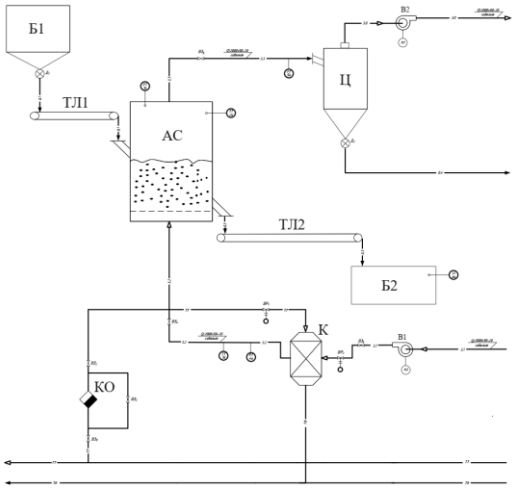


Рисунок 1.1 – Теплова функціональна схема сушарки КЦС–2000

Суть процесу сушіння, що протікає в псевдозрідженому шарі, полягає в наступному: при проходженні з певною швидкістю теплого повітря через шар зернистого матеріалу (зерна, цукру тощо) шар часток набуває властивості текучості і нагадує киплячу рідину. При такому активному перемішуванні теплого повітря із зернистим матеріалом досягається більш інтенсивне протікання процесу сушіння [14,15] .

Вологий цукор з бункера Б1 через дозатор Д1 надходить на стрічковий транспорер ТЛ1, далі цукор потрапляє в сушарку АС. Сухий цукор із сушарки АС надходить на стрічковий транс-портер ТЛ2 і далі збирається в бункері Б2. Повітря із-зовні нагнітається вентилятором В1 в калорифер К, де парою підігрівається до температури t_1 = 130 °С. Після калорифера повітря надходить у сушарку АС, де взаємодіє з цукром-піском, випаровуючи з нього вологу. Далі повітря, змішане з парою і цукровим пилом, що нагнітається вентилятором В2, надходить у циклон Ц, в якому повітря очищається від цукрового пилу.

2 РОЗРАХУНОК СУШАРКИ КЦС-2000

2.1 Матеріальний баланс установки

2.1.1 Початкові дані для розрахунку

– продуктивність за висушеним матеріалом $G_к$ = 5,56 кг/с;

– вміст фракцій частинок у матеріалі діаметром від 2,5 до 1,5 мм – 30 %, діаметром від 1,5 до 0,2 мм – 70 %;

– вологість цукрового піску початкова $\omega_п$ = 12%; кінцева $\omega_к$ =0,5%;

– температура вологого матеріалу ϑ_1 = 18 ° С;

– параметри свіжого повітря:

температура t_0 = 18 °С,

відносна вологість φ_0 = 72%;

тиск у сушарці атмосферний;

– температура повітря після калорифера t_1 = 130 °С;

– питомі втрати тепла в довкілля на 1 кг випаруваної вологи $q_п$ = 22,6 кДж/кг (що відповідає приблизно 1% теплоти, яка витрачається на випаровування 1 кг вологи).

2.1.2 Матеріальний баланс

Витрата видаленої з матеріалу вологи

$$W = \frac{G_k\left(\omega_п - \omega_к\right)}{100 - \omega_п}, \qquad (2.1)$$

$$W = \frac{5,56\left(14 - 2\right)}{100 - 14} = 0,7758\left(\frac{кг}{с}\right).$$

де W - витрата видаленої з матеріалу вологи, кг/с;

$G_к$ – продуктивність за висушеним матеріалом, кг/с;

$\omega_п$ - вологість цукрового піску початкова, %;

$\omega_к$ - вологість цукрового піску кінцева, %.

Витрата вологого цукру-піску

$$G_{п} = W + G_{к}, \tag{2.2}$$

$$G_{п} = 0,7758 + 5,56 = 6,3358 \left(\frac{кг}{с} \right).$$

2.2 Тепловий баланс сушарки

2.2.1 Параметри відпрацьованого повітря

Приймемо температуру відпрацьованого повітря t_2 = 50 °С, що дозволить теплоту сушильного агента використовувати досить повно. Зазвичай температуру сировини в псевдозрідженому шарі приймають на 1-2 градуси нижче за температуру повітря, яке відпрацьоване і викидається назовні [16,17]. Тоді температуру матеріалу у псевдозрідженому шарі беремо 48 °С. Якщо прийняти модель повного перемішування матеріалу в псевдозрідженому шарі, то температуру висушеного матеріалу можна вважати рівною температурі матеріалу в псевдозрідженому шарі, а саме ϑ = 48 °С.

Для внутрішнього теплового балансу сушарки

$$\Delta = c\,\vartheta_1 + q_{дод} - \left(q_{т} + q_{м} + q_{п}\right), \tag{2.3}$$

де Δ – різниця між питомими витратою і приходом теплоти безпосередньо в сушильній камері, кДж/кг вологи;

c – теплоємність вологи у вологому матеріалі за температури ϑ_1, кДж/(кг·К);

$q_{дод}$ – питоме додаткове підведення теплоти в сушильну камеру, кДж/кг вологи;

$q_{т}$ – питома теплота, підведена в сушарку з транспортними засобами, кДж/кг вологи;

$q_{м}$ – питома теплота, підведена в сушарку з матеріалом, що висушується, кДж/кг вологи;

$q_{п}$ – питомі втрати теплоти в довкілля на 1 кг випаруваної вологи, кДж/кг.

При роботі сушарки за нормальним сушильним варіантом $q_{дод} = 0$, $q_т = 0$.

Питома теплота, підведена в сушарку з матеріалом, що висушується

$$q_м = \frac{G_к c_м (\vartheta_2 - \vartheta_1)}{W}, \quad (2.4)$$

де $c_м$ – теплоємність висушеного матеріалу, беремо 0,8 кДж/(кг·К) [16];

ϑ_2 – температура висушеного матеріалу на виході із сушарки, °С.

Підставивши значення в рівняння внутрішнього теплового балансу сушарки одержуємо

$$\Delta = 4{,}19 \cdot 18 - \frac{5{,}56 \cdot 1{,}25 \cdot (48 - 18)}{0{,}7758} - 22{,}6 = -215{,}93 \left(\frac{кДж}{кг} \right).$$

На діаграмі h - d за відомими параметрами повітря на вході в підігрівач $t_0 = 18$ °С і $\varphi_0 = 72\%$ знаходимо параметри свіжого повітря, а саме вологовміст d_0 і ентальпію h_0: $d_0 = 0{,}0092$ кг вологи/кг сухого повітря, $h_0 = 41{,}9$ кДж/кг сухого повітря.

Якщо повітря нагріти до температури $t_1 = 90$ °С то відбувається збільшення його ентальпії до h_1=117 кДж/кг. Відповідно, вологовміст залишається сталим $d_0 = d_1$.

Щоб визначити параметри відпрацьованого повітря нам необхідно на діаграмі h - d побудувати робочу криву сушіння. Задаємо довільне значення вмісту вологи в повітрі d = 0,016 кг/кг.

Значення ентальпії, відповідне йому, визначимо так

$$\Delta = h - \frac{h_1}{d - d_1}, \quad (2.5)$$

звідки

$$h = h_1 + \Delta \cdot (d - d_1), \quad (2.6)$$

$$h = 117 - 215,93\left(0,016 - 0,0092\right) = 115,5\left(\frac{кДж}{кг}\right).$$

Проведемо лінію сушіння на h-d діаграмі через точки з координатами $d_1 = d_0 = 0,0092$ кг/кг, $h_1 = 117$ кДж/кг і $d = 0,016$ кг/кг, $h = 115,5$ кДж/кг до перетину із заданою температурою відпрацьованого теплоносія $t_2 = 50$ °С. У точці, де лінія сушіння та ізотерма 50 °С перетинаються, знаходимо кінцеві вологовміст відпрацьованого повітря $d_2 = 0,0248$ кг/кг і ентальпію h2 = 114,6 кДж/кг. Процес в h-d діаграмі показаний в Додатку Г.

2.2.2 Тепловий баланс

Витрата повітря на сушіння

$$L = \frac{W}{d_2 - d_0}\ , \tag{2.7}$$

$$L = \frac{0,7758}{0,0248 - 0,0092} = 49,73\left(\frac{кг}{с}\right).$$

Середня температура повітря у сушарці

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2}\ , \tag{2.8}$$

$$t_{ср} = \frac{90 + 50}{2} = 70\ °C.$$

Середній вологовміст сушильного агента в сушарці

$$d_{ср} = \frac{d_0 + d_2}{2}, \tag{2.9}$$

$$d_{ср} = \frac{0,0097 + 0,0248}{2} = 0,0345 \left(\frac{кг}{кг} \right).$$

Середня густина сухого повітря

$$\rho_{сп} = \frac{M_{сп}}{\upsilon_0} \frac{T_0}{T_0 + t_{ср}}, \qquad (2.10)$$

де $M_{сп}$ – молярна маса сухого повітря, кг/кмоль;

υ_0 – об'єм 1 кіломоля газу за нормальних умов.

$$\rho_{сп} = \frac{29}{22,4} \frac{273}{273 + 70} = 1,03 \left(\frac{кг}{м^3} \right).$$

Середня густина водяної пари

$$\rho_{вп} = \frac{M_{вп}}{\upsilon_0} \frac{T_0}{T_0 + t_{ср}}, \qquad (2.11)$$

де $M_{вп}$ – молярна маса водяної пари, кг/кмоль;

$$\rho_{вп} = \frac{18}{22,4} \frac{273}{273 + 70} = 0,639 \left(\frac{кг}{м^3} \right).$$

Середня об'ємна продуктивність за повітрям

$$V = \frac{L}{\rho_{сп}} + \frac{d_{ср} \cdot L}{\rho_{вп}}, \qquad (2.12)$$

$$V = \frac{49,73}{1,03} + \frac{0,0345 \cdot 49,73}{0,639} = 50,96 \left(м^3 / с \right).$$

Витрата теплоти на сушіння

$$Q = L \cdot (h_1 - h_0), \qquad (2.13)$$

$$Q = 49{,}73\ (117–41{,}9) = 489\ (кВт).$$

З врахуванням к.к.д. топки і теплообмінника, теплова потужність поки повинна бути не менша 550 кВт.

2.3 Конструктивний розрахунок сушарки

Фіктивна (на повний переріз апарата) швидкість початку псевдозрідження

$$\omega_{пс} = \frac{Re \cdot \mu_{ср}}{\rho_{ср} \cdot d_e}, \qquad (2.14)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

$\mu_{ср}$ – в'язкість повітря при середній температурі, $м^2/с$;

$\rho_{ср}$ – густина повітря за середньої температури, $кг/м^3$;

d_e – еквівалентний діаметр полідисперсних частинок матеріалу, м;

$\omega_{пс}$ – фіктивна швидкість початку псевдозрідження, м/с.

Еквівалентний діаметр полідисперсних частинок матеріалу

$$d_e = \frac{1}{\sum_1^n \frac{m_i}{d_i}}, \qquad (2.15)$$

де n – число фракцій;

m_i – вміст і-й фракції, масові частки;

d_i – середній ситовий розмір і-тої фракції, м.

$$d_e = \frac{1}{\frac{0{,}3}{\frac{1{,}5+2{,}5}{2}\cdot 10^{-3}} + \frac{0{,}7}{\frac{0{,}2+1{,}5}{2}\cdot 10^{-3}}} = 1{,}176 \cdot 10^{-3}\ (м).$$

Критерій Архімеда

$$Ar = \frac{d_e^3 \cdot \rho_{ср} \cdot g \cdot \rho_ч}{\mu_{ср}^2}, \quad (2.16)$$

де $\rho_ч$ – густина частинок, кг/м^3.

$$Ar = \frac{\left(1{,}176 \cdot 10^{-3}\right)^3 1{,}03986 \cdot 9{,}81 \cdot 850}{\left(1{,}992 \cdot 10^{-5}\right)^2} = 3{,}554 \cdot 10^4.$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5{,}22\sqrt{Ar}}, \quad (2.17)$$

$$Re = \frac{3{,}554 \cdot 10^4}{1400 + 5{,}22\sqrt{3{,}554 \cdot 10^4}} = 14{,}9.$$

Швидкість початку псевдозрідження

$$\omega_{пс} = \frac{14{,}9 \cdot 1{,}992 \cdot 10^{-5}}{1{,}03986 \cdot 1{,}176 \cdot 10^{-3}} = 0{,}2427 \left(\text{м}/\text{с}\right).$$

Допустима швидкість повітря в псевдозрідженому шарі (її верхня межа) визначає швидкість вільного витання (винесення найбільш дрібних частинок).

$$\omega_{вв} = \frac{\mu_{ср}}{d_ч \cdot \rho_{ср}} \left(\frac{Ar_{0,2}}{18 + 0{,}575\sqrt{Ar_{0,2}}} \right), \quad (2.18)$$

де $Ar_{0,2}$ – критерій Архімеда для частинок цукру піску діаметром 0,2 мм;

$d_ч$ – найменший діаметр частинки, м.

Критерій Архімеда для частинок цукрового піску діаметром 0,2 мм, за (4.3)

$$\mathrm{Ar}_{0,2}=\frac{\left(0,2\cdot10^{-3}\right)^3 1,03986\cdot9,81\cdot850}{\left(1,992\cdot10^{-5}\right)^2}=1,748\cdot10^4\ .$$

Швидкість вільного витання (винесення)

$$\omega_{вв}=\frac{1,992\cdot10^{-5}}{0,210^{-3}\cdot1,03986}\left(\frac{1,748\cdot10^2}{18+0,575\sqrt{1,748\cdot10^2}}\right)=0,654\left(\text{м}/\text{с}\right).$$

Граничне число псевдозрідження

$$К_{\omega}=\frac{\omega_{вв}}{\omega_{пс}}, \tag{2.19}$$

$$К_{пр}=\frac{0,654}{0,2427}=2,7.$$

Робочу швидкість ω сушильного агента рекомендовано вибирати [16] в межах від $\omega_{пс}$ до $\omega_{вв}$. Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження $К_{пр}=\omega_{вв}/\omega_{пс}$: за $К_{пр}$ понад 40-50 робоче число псевдозрідження рекомендується вибирати в інтервалі від 3 до 7; за $К_{пр}$ менше 20-30 значення $К_{\omega}$ можна вибирати в інтервалі від 1,5 до 3. Приймаємо $К_{\omega}=3$.

Тоді робоча швидкість сушильного агента

$$1.\quad \omega=К_{\omega}\cdot\omega_{пс}, \tag{2.20}$$

$$\omega=3\cdot0,2427=0,7281\left(\text{м}/\text{с}\right).$$

Діаметр сушарки d, м, визначають з рівняння витрати

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot \omega}}, \tag{2.21}$$

$$D = \sqrt{\frac{50,96}{0,785 \cdot 0,7281}} \approx 9\,(\text{м}).$$

Знайдемо висоту псевдозрідженого шару. Розв'язуючи систему рівнянь з матеріального балансу і масовіддачі, отримаємо

$$dW = \omega \cdot \rho_{ср} \cdot S \cdot dx = \beta_y (d^* - d) dF, \tag{2.22}$$

де W – видатність сушарки за випаруваною вологою, кг/с;

S – поперечний переріз сушарки, м^2;

d і d* – робочий і рівноважний вологовміст повітря, кг/кг;

F – поверхня висушуваного матеріалу, м^2;

$\rho_{сп}$ – густина сухого повітря за середньої температури в сушарці, кг/м^3;

β_y – коефіцієнт масовіддачі м/с.

За умови кулеподібності частинок замінимо поверхню висушуваного матеріалу dF на

$$dF = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d_e} S \cdot dh, \tag{2.23}$$

де h – висота псевдозрідженого шару, м;

ε – пористість псевдозрідженого шару, м^3/м^3.

Розділивши змінні та інтегруючи отриманий вираз, за умови збереження температури частинок по висоті шару знайдемо

$$\frac{d^* - d_2}{d^* - d_0} = \exp\left(-\frac{\beta_y}{\omega \rho_{ср}} \cdot \frac{6(1 - \varepsilon)}{d_e} h \right). \tag{2.24}$$

Рівноважний вміст вологи в сушильному агенті d* визначаємо за h-d діаграмою як абсцису точки перетину робочої лінії сушіння з лінією постійної відносної вологості φ=100 %. Величина d* =0,0317 кг/кг.

Тоді

$$\frac{d^* - d_2}{d^* - d_0} = \frac{0,0317 - 0,0248}{0,0317 - 0,0092} = 0,3067.$$

Пористість псевдозрідженого шару ε при відомому значенні робочої швидкості може бути розрахована так

$$\varepsilon = \left(\frac{18\,Re + 0,36\,Re^2}{Ar} \right)^{0,21}. \qquad (2.25)$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega d_e \rho_{cp}}{\mu_{cp}}, \qquad (2.26)$$

$$Re = \frac{0,7281 \cdot 1,176 \cdot 10^{-3} \cdot 1,03986}{1,992 \cdot 10^{-5}} = 44,697.$$

Пористість псевдозрідженого шару, за (2.25)

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot 44,697 + 0,36 \cdot 44,697^2}{3,554 \cdot 10^4} \right)^{0,21} = 0,516.$$

Коефіцієнт масовіддачі β_y визначимо за критеріальними рівняннями масовіддачі. При випаровуванні вологи він може бути розрахований так

$$Sh = 2 + 0,51 Re^{0,52} Sc^{0,33}, \qquad (2.27)$$

де Sh – критерій Шервуда;

Sc – критерій Шмідта.

Коефіцієнт дифузії водяної пари в повітрі за середньої температури в сушарці D, м^2/с

$$D = D_{20}(\frac{T_0 + t_{ср}}{T_0})^{3/2}, \quad (2.28)$$

Коефіцієнт дифузії водяної пари в теплоносієві за 20 °С $D_{20} = 21{,}9 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

$$D_{70} = 21{,}9 \cdot 10^{-6}(\frac{273+70}{273})^{\frac{3}{2}} = 3{,}0842 \cdot 10^{-5} \left(\text{м}^2/\text{с}\right).$$

Критерій Шмідта

$$Sc = \frac{\mu}{\rho \cdot D_{70}}, \quad (2.29)$$

$$Sc = \frac{1{,}992 \cdot 10^{-5}}{1{,}03986 \cdot 3{,}0842 \cdot 10^{-5}} = 0{,}67.$$

Критерій Шервуда

$$Sh = \ Sh = 2 + 0{,}51 \cdot 44{,}697^{0{,}52} \cdot 0{,}67^{0{,}33} = 8{,}32.$$

Коефіцієнт масовіддачі

$$\beta_y = \frac{Sh \cdot D_{70}}{d_e}, \quad (2.30)$$

$$\beta_y = \frac{8{,}32 \cdot 3{,}0842 \cdot 10^{-5}}{1{,}176 \cdot 10^{-3}} = 0{,}137 \left(\text{м}/\text{с}\right).$$

Висота псевдозрідженого шару, за (2.10)

$$0,3067 = \exp\left(-\frac{0,137}{0,7281 \cdot 1,03986} \cdot \frac{6(1-0,516)}{1,176 \cdot 10^{-5}} \cdot h \right),$$

звідки $h = 2,645 \cdot 10^{-3}$ м.

Оптимальну висоту псевдозрідженого шару Н визначимо методом порівняння розрахованих величин з висотою, яка необхідна для гідродинамічно стійкої роботи шару та запобігання утворення в ньому каналів, по яких може проходити теплоносій. Різниця між цими висотами залежить від того, як визначається швидкість сушильного процесу тобто зовнішнім або внутрішнім дифузійним опором і наскільки великий цей опір [18].

У разі першого періоду сушіння (видалення поверхневої вологи) гідродинамічно стабільна висота найчастіше перевищує розраховану за кінетичними закономірностями досить суттєво. При цьому висоту псевдозрідженого шару Н вмзначають, виходячи з наступних міркувань. На підставі досвіду експлуатації апаратів з псевдозрідженим шаром встановлено [12], що висота шару Н повинна бути приблизно в 4 рази більшою від висоти зони гідродинамічної стабілізації шару $H_{ст}$, тобто $H \approx 4\ H_{ст}$. Висота $H_{ст}$ зв'язана з діаметром отворів розподільної решітки $H_{ст}$ співвідношенням $H_{ст} \approx 20 d_0$; отже, $H \approx 80 d_0$.

Діаметр отворів розподільної решітки вибирають із ряду нормальних розмірів, встановлених ДСТУ ГОСТ 6636 – 69 (в мм): 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,2; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6.

Вибираємо діаметр отворів розподільної решітки d_0 – 2,5 мм. Тоді висота псевдозрідженого шару $H = 80 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,2$ м.

Число отворів n в розподільній решітці

$$n = \frac{4SF_c}{\pi d_0^2} = \frac{d^2 F_c}{d_0^2}, \qquad (2.31)$$

де S – переріз розподільної решітки, числово рівний перерізу сушарки, м^2;

F_c – частка живого перерізу решітки, яку приймають в інтервалі від 0,02 до 0,1.

$$n = \frac{9^2 \cdot 0,05}{0,0025^2} = 648000 \text{ (штук)}.$$

Розташування отворів в розподільній решітці рекомендується застосовувати по кутах рівносторонніх трикутників. При цьому поперечний крок t’ і повздовжній крок t” розраховують за наступними співвідношеннями

$$\begin{cases} t' = 0,95 \cdot d_0 \cdot F_c - 0,5; \\ t'' = 0,886 \cdot t'. \end{cases} \quad (2.32)$$

$$\begin{cases} t' = 0,95 \cdot 0,0025 \cdot 0,05 - 0,5 = 0,011 \text{ м}; \\ t'' = 0,866 \cdot 0,011 = 0,009 \text{ м}. \end{cases}$$

Висоту сепараційного простору сушарки з псевдозрідженим шаром H_c приймають в 4-6 разів більше висоти псевдозрідженого шару [16]

$$H_c = 5H = 5 \cdot 0,2 = 1 \text{ м}.$$

2.4 Аеродинамічний розрахунок сушильної лінії

2.4.1 Аеродинамічний опір сушарки

Основну частку загального аеродинамічного опору сушарки ΔР, Па, складають опори псевдозрідженого шару $\Delta P_{пш}$, Па, і решітки $\Delta P_р$, Па

$$\Delta P = \Delta P_{пш} + \Delta P_р. \quad (2.33)$$

Величину $\Delta P_{пш}$ знайдемо за рівнянням

$$\Delta P_{пш} = \rho_ч \cdot (1-\varepsilon) \cdot g \cdot H, \quad (2.34)$$

де $\rho_ч$ – густина цурово-повітряної суміші, приймаємо 850 кг/м^3 [19];

ε – пористість псевдозрідженого шару;

Н – висота псевдозрідженого шару, м.

$$\Delta P_{пш} = 850 \cdot (1\text{-}0{,}516) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}2 = 807{,}17 \text{ (Па)}.$$

Для нормального розподілу газових потоків необхідно дотримуватися певного співвідношення між гідравлічними опорами решітки і шару. Мінімально допустимий гідравлічний опір решітки $\Delta P_{p\,min}$, Па

$$\Delta P_{p\,min} = \frac{\Delta P_{пш} K_{\omega}^2 \left(\varepsilon - \varepsilon_0\right)}{\left(K_{\omega}^2 - 1\right)\left(1 - \varepsilon_0\right)}, \tag{2.35}$$

де ε_0 – пористість нерухомого шару, приймаємо 0,4 [16];

$$\Delta P_{p\,min} = \frac{807{,}17 \cdot 3^2 \left(0{,}516 - 0{,}4\right)}{\left(3^2 - 1\right)\left(1 - 0{,}4\right)} = 175{,}559 \left(\text{Па}\right).$$

Аеродинамічний опір вибраної решітки (див. 2.24)

$$\Delta P_p = \xi \left(\frac{\omega}{F_c}\right)^2 \frac{\rho_{ср}}{2}, \tag{2.36}$$

$$\Delta P_p = 1{,}75 \left(\frac{0{,}7281}{0{,}05}\right)^2 \frac{1{,}03986}{2} = 192{,}9 \left(\text{Па}\right).$$

Розрахунок показує, що вибрана нами решітка має опір більший від мінімального, тому вважаємо, що решітка вибрана коректно.

Загальний аеродинамічний опір сушарки, за (2.33)

$$\Delta P_c = 807{,}17 + 192{,}9 = 1000{,}07 \text{ (Па)}.$$

2.4.2 Аеродинамічний опір повітропроводів

Для розрахунку аеродинамічного опору повітропроводів приймемо швидкість повітря в ньому w = 15 м/с [16]. Тоді, діаметр повітропровода

$$d_т = \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\rho_{ср} \cdot \pi \cdot w}}, \quad (2.37)$$

$$d_т = \sqrt{\frac{4 \cdot 49,73}{1,03986 \cdot 3,14 \cdot 15}} = 1,95 \text{ (м)}.$$

Критерій Рейнольдса для потоку в повітропроводі

$$Re = \frac{w \cdot d_т \cdot \rho}{\mu}, \quad (2.38)$$

$$Re = \frac{15 \cdot 1,95 \cdot 1,03986}{1,992 \cdot 10^{-5}} = 2992610.$$

Приймаємо, що короба були в експлуатації але корозія незначна. Тоді абсолютну шорсткість беремо $\Delta = 1,5 \cdot 10^{-4}$ (м) [20].

Розрахунок загального коефіцієнта опору виконуємо для зони змішаного тертя

$$\lambda = 0,11\left(1 + \frac{68}{Re}\right)^{0,25}, \quad (2.39)$$

$$\lambda = 0,11\left(1 + \frac{68}{2992610}\right)^{0,25} = 0,0109.$$

Визначимо коефіцієнти місцевих опорів: вхід до труби 0,5; коліно 1,1 (3 штуки); вихід 1; вентилі 0,3 (4 штуки); раптове розширення 0,81. Сумарний опір дорівнює

$$\sum \xi = 0,5 + 3 \cdot 1,1 + 1 + 4 \cdot 0,3 + 0,81 = 8,31.$$

Втрати тиску

$$\Delta P_т = \left(\frac{\lambda \cdot \ell}{d_e} + \sum \xi \right) \frac{\rho \omega^2}{2}, \qquad (2.40)$$

де ℓ – довжина повітропроводів, з технологічної схеми беремо 22,5 м.

$$\Delta P_т = \left(\frac{0,0109 \cdot 22,5}{2} + 8,31 \right) \frac{1,03986 \cdot 15^2}{2} = 3116,8 \left(Па \right).$$

Надлишковий тиск ΔР, Па, який повинен забезпечити вентилятор для подолання аеродинамічного опору апарату та повітропроводу

$$\Delta P = \Delta P_т + \Delta P_с = 3116,6 + 1000,07 = 4116,67 \text{ (Па)}.$$

Корисна потужність вентилятора $N_п$

$$N_п = \rho g V H = \frac{L}{\rho} \Delta P \qquad (2.41)$$

$$N_п = \frac{49,73}{1,03986} 4116,67 = 185250 \left(Вт \right).$$

Приймаючи $\eta_{пер}$=1 і $\eta_н$=0,6 знаходимо

$$N = \frac{N_п}{\eta_н \eta_{пер}}, \qquad (2.42)$$

$$N = \frac{185250 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0,6} = 308,34 \left(кВт \right).$$

За отриманими розрахунками вибираємо газодувку ТВ-600-1,1 з електродвигуном А3-315М-2 [21].

3 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ

3.1 Способи покращення енергозбереження в сушарці

Для підвищення енергозбереження і здешевлення процесу сушіння в сушарках можна застосувати такі заходи:

– встановлення теплообмінника-рекуператора на виході з сушарки, для відбирання теплоти відпрацьованого теплоносія;

– заміну топки сушарки, яка використовує природний газ, на використання місцевого альтернативного виду палива;

– використання більш енергозберігаючої схеми організації руху теплоносія в сушарці;

– використання енергозберігаючої технології сушіння із застосуванням сучасних засобів автоматизації та комп'ютерного управління технологічним процесом;

– підвищення коефіцієнта використання теплоти шляхом оптимізації технологічних параметрів процесу сушіння [22-26].

3.2 Аналіз придатності способів підвищення енергозбереження

3.2.1 Встановлення теплообмінника-рекуператора.

Даний спосіб є досить поширеним, традиційним і надійним. Сучасні пластинчасті рекуператори типу «газ-газ» мають високий коефіцієнт корисної дії, досить компактні, не дивлячись на низький, в порівнянні з рідинними теплоносіями коефіцієнт теплопередачі, відносно недорогі і прості в експлуатації. Однак, необхідно врахувати той факт, що в сушарках цукру з псевдозрідженим шаром деяка частина кристаликів цукру, внаслідок їх дроблення або при порушенні технології виготовлення цукру (утворення у вакуум-апаратах вторинних центрів кристалізації і, як наслідок, великий вміст пудри, що захвачується теплоносієм) необхідне встановлення обладнання для відбирання цукрової пудри з відпрацьованого теплоносія. Установлення рекуператорів після установок очищення (як

правило, циклонів) є недоцільним, оскільки відпрацьований теплоносій має значно нижчу температуру, ніж після сушильної камери, а перед очисними установками – неможливим, бо цукрова пудра налипає на будь-які поверхні і рекуператори якісно працювати не будуть [27].

3.2.2 Використання енергозберігаючої схеми організації руху теплоносія

Енергозберігаючі схеми руху теплоносія передбачають також або встановлення рекуператора, або кількаразове використання теплоносія, поки він не набере значення критичного вологовмісту, коли швидкість сушіння суттєво зменшиться. Однак для сушіння цукру такі схеми непридатні через наявність у відпрацьованому теплоносієві цукрового пилу, який осідатиме на повітропроводах, рухомих і нерухомих частинах нагнітальних машин тощо [28].

3.2.3 Застосування сучасних засобів автоматизації процесу

Застосування сучасних засобів автоматизації технологічного процесу є перспективним напрямком енергозбереження в сушильній техніці, але виходить за рамки бакалаврської кваліфікаційної роботи і тому тут не розглядається.

3.2.4 Оптимізація технологічних параметрів процесу сушіння

Оптимізація технологічних параметрів процесу сушіння і можливості керування процесом сушіння планується розглянути в магістерській кваліфікаційній роботі.

3.2.5 Використання місцевого альтернативного виду палива

Використання місцевого альтернативного виду палива розглянемо більш детально, оскільки цей спосіб є найдоцільнішим.

У Вінницькій області найперспективнішими видами твердого альтернативного палива є:

– злакова солома;

– відходи деревини (тріска, стружка тощо);

– кам’яне вугілля;

– енергетична верба.

Розрахунок необхідної теплової потужності топки для роботи сушарки псевдозрідженого шару КЦС-2000, виконаний в Розділі 1 показав, що вона має бути не менше 550 кВт.

Для розрахунку складена програма в пакеті Mathcad, самі розрахунки подані в Додатку Д, тому тут ми приводимо лише зведену таблицю розрахунків (таблиця 3.1) і графічну інтерпретацію результатів (рис. 3.1). Для розрахунку ціни на альтернативні види палива бралися станом на 20.05. 2025 року.

Солома. В Україні можна збирати від 2 до 4,5 т с.р. соломи на гектар. Солома зернових має низький вологовміст (менше 20%) і її можна гранулювати/тюкувати або спалювати без попереднього досушування. Найкраще значення вмісту вологи в соломі становить 11-15%. Вартість соломи 40 EUR/тонна, або 1890 грн/тонна [29]. Теплотворна здатність 14,6 МДж/кг [30].

Відходи деревини. Середня ціна на паливну тріску з вологовмістом 35% становить 94 EUR/тонна, або 4450 грн/тонна [31]. Теплотворна здатність 10,5 МДж/кг [30].

Кам’яне вугілля марки ДГ 13-100 (довгополум’яно-газове). Є покращеним варіантом вугілля марки Д, відрізняється збільшеним вмістом летких речовин, має нижчі показники зольності та сірки. Вартість 12500 грн/тонна [32]. Теплотворна здатність 25 МДж/кг [30].

Енергетична верба. Середня вартість висушених пелет (рубане стебло) з енергетичної верби 100 EUR/тонна або 4700 грн/тонна [31]. Теплотворна здатність 12 МДж/кг [30].

Природний газ. Вартість 21 грн/ $м^3$ [33]. Теплотворна здатність 33,5 МДж/$м^3$ [30].

Розрахункові характеристики представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Придатність різних видів палива для роботи сушарки з псевдозрідженим шаром КЦС-2000.

Вид палива	Нижча теплота згорання, МДж/кг	Питома вартість палива, грн/тонна	Годинна витрата палива, кг/год	Годинна вартість палива при роботі, грн/год
Солома	14,6	1890	135,6	256
Відходи деревини	10,5	4450	188,6	839
Кам’яне вугілля	25	12500	79,2	990
Енргетична верба	12	4700	165,0	776
Природний газ *	33,5	21000	59,1	1241

* Для природного газу кількість бралась в $м^3$.

Графічна залежність вартості палива для годинної роботи сушарки представлена на Рис.3.1.

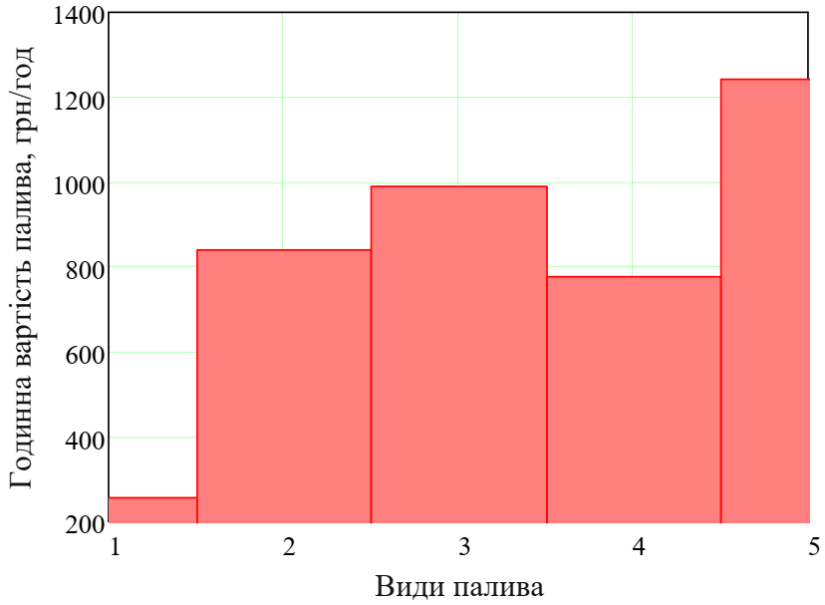


Рисунок 3.1 – Вартість різних видів палива для роботи сушарки КЦС-2000

1 – солома; 2 – тріска деревини; 3 – вугілля кам’яне;

4 – енергетична верба; 5 – природний газ

4 РОЗРАХУНКИ ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Топка на пшеничній соломі

4.1.1 Дані для розрахунку

Робоче паливо – солома пшенична. Елементарний склад палива [30]:

W^P=17%; A^P=5%; S^P=0,07%; C^P=46%; H^P=5,9%; N^P=0,5%; O^P=40%;

Робочі параметри:

− температура холодного повітря, $t_{хп}$ =10 °С;

− температура повітря на виході, $t_{вих}$ = 75 °С;

− витрата повітря, $V_{пов}$ = 183600, м^3/год = 51 м^3/с;

− коефіцієнт надлишку повітря за топкою, α'' = 1,4;

− частка присмоктування повітря в топці, $\Delta\alpha$ = 0,1;

− частка виносу золи, $a_{вин}$ = 0,95;

– потужність теплогенератора 500 кВт.

4.1.2 Об’єми повітря та продуктів згорання

Теоретичний об’єм повітря

$$V^0=0{,}0889\cdot\left(C^P+0{,}375\cdot S^P\right)+0{,}265\cdot H^P-0{,}033\cdot O^P, \qquad (4.1)$$

де C^P − робочий вміст вуглецю у паливі, %;

S^P – робочий вміст сірки у паливі, %;

H^P – робочий вміст водню у паливі, %;

O^P – робочий вміст кисню у паливі, %;

$$V^0=0{,}0889\cdot(46+0{,}375\cdot 0{,}07)+0{,}265\cdot 5{,}9-0{,}033\cdot 40=4{,}323 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об’єм триатомних газів

$$V_{RO_2}=0{,}01866\left(C^P+0{,}375\cdot S^P\right), \qquad (4.2)$$

$$V_{RO_2}=0,01866(46+0,375\cdot0,07)=0,859\ (м^3/кг).$$

Теоретичний об’єм азоту

$$V_{N_2}^0=0,79\cdot V^0+0,008\cdot N^P, \qquad (4.3)$$

де N^P – робочий вміст азоту у паливі, %;

$$V_{N_2}^0=0,79\cdot4,323+0,008\cdot0,5=3,419\ (м^3/кг).$$

Теоретичний об’єм водяної пари

$$V_{H_2O}^0=0,111\cdot H^P+0,0124\cdot W^P+0,0161\cdot V^0, \qquad (4.4)$$

де W^P – робоча вологість палива, %;

$$V_{H_2O}^0=0,111\cdot5,9+0,0124\cdot17+0,0161\cdot4,323=0,935\ (м^3/кг).$$

Теоретично необхідний об’єм повітря

$$V_0=0,115\cdot\left(C^P+0,375\cdot S^P\right)+0,342\cdot H^P-0,0431\cdot O^P, \qquad (4.5)$$

$$V_0=0,115\cdot(46+0,375\cdot0,07)+0,342\cdot5,9-0,431\cdot40=5,587\ (м^3/кг).$$

Подальші розрахунки наведені в таблиці 4.1 [34].

Таблиця 4.1 – Середні характеристики продуктів згорання

Найменування величини	Розмірність	Топка
1	2	3
Коефіцієнт надлишку повітря за топкою α''	—	1,35
Коефіцієнт надлишку повітря середній $\alpha_{ср}$	—	1,35
Об’єм триатомних газів, V_{RO_2}	$м^3/кг$	0,859
Об’єм азоту, V_{N_2}	$м^3/кг$	4,932
Об’єм водяної пари, V_{H_2O}	$м^3/кг$	0,96
Об’єм димових газів, $V_г$	$м^3/кг$	6,751

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Об'ємна частка триатомних газів, $r_{RO_2}=V_{RO_2}/V_г$	—	0,127
Об'ємна частка водяної пари, $r_{H_2O}=V_{RO_2}/V_г$	—	0,142
Сумарна частка триатомних газів, $r_n=r_{RO_2}+r_{H_2O}$	—	0,269
Маса димових газів, $G_г=1-\frac{A^P}{100}+1{,}306\alpha''V^0$	кг/кг	$1-\frac{5}{100}+1{,}306\times$ $\times 1{,}35\times 4{,}323=8{,}572$
Концентрація золи, $\mu_{зл}=\frac{A^P\cdot a_{вин}}{100G_г}$	—	$\frac{5\cdot 0{,}95}{100\cdot 8{,}572}=$ $=0{,}00554$

4.1.3 Ентальпії повітря і димових газів

Ентальпії теоретичної кількості повітря для всього обраного діапазону температур [35]

$$I_п^0=V_0\cdot(c\vartheta)_{пов}, \tag{4.6}$$

де $(c\vartheta)_{пов}$ – питома ентальпія повітря, кДж/кг.

Ентальпії теоретичної кількості газів для всього обраного діапазону температур

$$I_г^0=V_{RO_2}\cdot(c\vartheta)_{RO_2}+V_{N_2}^0\cdot(c\vartheta)_{N_2}+V_{H_2O}^0\cdot(c\vartheta)_{H_2O}, \tag{4.7}$$

де $(c\vartheta)_{RO_2}$, $(c\vartheta)_{N_2}$, $(c\vartheta)_{H_2O}$ – питомі ентальпії складових газів, кДж/кг.

Ентальпії димових газів

$$I_г=I_г^0+(\alpha''-1)\cdot I_п^0. \tag{4.8}$$

Ентальпії повітря та димових газів наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Ентальпії повітря і димових газів

ϑ, °С	$I_г^0$, кДж/кг	$I_п^0$, кДж/кг	$I_г$, кДж/кг
20	–	145,262	–
30	–	217,893	–
100	730,826	737,484	1025,82
200	1479,843	1486,142	2074,3
300	2253,334	2251,561	3153,958
400	3050,271	3028,154	4261,533
500	3868,17	3821,508	5396,773
600	4702,719	4637,21	6557,603
700	5561,818	5469,673	7749,687
800	6439,578	6313,31	8964,902
900	7367,496	7156,947	10230,27
1000	8270,479	8022,932	11479,65
1100	9193,728	8911,265	12758,23
1200	10121,59	9799,598	14041,43
1400	12043,66	11598,61	16683,11
1600	13984,13	13425,56	19354,35
1800	15962,51	15246,92	22061,27
2000	17964,86	17118,57	24812,29
2200	19989,01	18990,21	27585,09

4.1.4 Тепловий баланс і витрата палива

Розрахунок теплового балансу, ККД установки і витрати палива наведені в таблиці Е.1 Додатка Е.

4.1.5 Перевірний розрахунок топки

Конструктивні характеристики топкової камери:

– об’єм топкової камери $V_т$, дорівнює 30,307 м^3;

– теплове напруження об’єму топки

$$q_V=B_P\cdot Q_н^P/V_т, \quad (4.9)$$

де $V_т$ об’єм топкової камери і дорівнює 30,307 м^3;

$$q_V=0{,}0355\cdot 13500/30{,}307=15{,}813\ (кВт/м^3).$$

Інші конструктивні характеристики топки зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Конструктивні характеристики топки

Величина			Стінки топки				Сумарна площа
Найменування	Позначення	Розмірність	Фронтова + під	Бокова	Задня+ вікно	Склепіння	
Сумарна площа стін топки	$F_{ст}$	$м^2$	8,549 +7,986	12,649	7,485+ 0,329	9,231	58,878
Площа, яка зайнята променеспримальною поверхнею	$F_{пр}$	$м^2$	–	10,086	4,276+ 0,329	–	24,777
Кутовий коефіцієнт екрана	x	–	–	0,97	1	–	–
Площа променеспримальної поверхні	$H_{пр}$	$м^2$	–	9,783	4,467	–	24,033
Коефіцієнт забруднення екранної поверхні	ξ	–	–	0,6	0,6	–	

4.1.6 Тепловий розрахунок топки

Тепловий розрахунок топки зводимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Тепловий розрахунок топки

Величина			Розмірність	Розрахунок
Найменування	Позна-чення	Розрахункова формула, спосіб визначення		
1	2	3	4	5
Коефіцієнт надлишку повітря	α''	Із таблиці 4.1	—	1,35
Присмоктування в топці	$\Delta\alpha$	Те ж	—	0,1
Ентальпія холодного повітря	$I^0_{хп}$	Із таблиці 4.2	кДж/кг	152,72
Теплота, яка вноситься в топку з повітрям	$Q_{пов}$	$(\alpha'' - \Delta\alpha)\cdot I^0_{хп}+\Delta\alpha\cdot I^0_{хп}$	кДж/кг	$(1{,}5-0{,}1)\cdot 112{,}404+0{,}1\times$ $\times 112{,}404=168{,}606$
Корисне тепловиділення в топці	$Q_т$	$Q_н\cdot\frac{100-q_3-q_4}{100-q_4}+Q_{пов}$	кДж/кг	$13500\cdot(100-0{,}5-4)/$ $/(100-4)+168{,}606=13598$
Адіабатна температура горіння	ϑ_a	Із таблиці 4.2	°С К	1131 1404
Температура газів на виході з топки	$\vartheta''_т$	За попереднім вибором	°С	200
Ентальпія газів на виході з топки	$I''_т$	Із I – ϑ таблиці	кДж/кг	2074,3
Променисте теплосприйняття топки	$Q^{пр}_т$	$\varphi\cdot(Q_т - I''_т)$	кДж/кг	$0{,}984\cdot(13598-2074{,}3)=$ $=11339{,}32$
Середня сумарна теплоємність продуктів згорання	$V c_{ср}$	$\frac{Q_т - I''_т}{\vartheta_a - \vartheta''_т}$	кДж/(кг·К)	$(13598-2074{,}3)/$ $/(1131-200)=8{,}56$

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5
Ефективна товщина випромінювального шару	s	$3{,}6 \cdot V_т/F_{ст}$	м	$3{,}6 \cdot \frac{30{,}307}{58{,}878} = 1{,}85$
Ступнь екранування топки	$\chi_т$	$H_{пр}/F_{ст}$	—	$24{,}033/58{,}878 = 0{,}408$
Середній коефіцієнт теплової ефективності екранів	$\psi_{ср}$	$\sum(H_{пр} \cdot \xi)/F_{ст}$	—	$(9{,}783 \cdot 0{,}6 + 4{,}467 \cdot 0{,}6)/$ $/58{,}878 = 0{,}145$
Сумарна об'ємна частка триатомних газів	r_n	Із таблиці 4.1	—	0,269
Добуток $p \cdot r_n \cdot s$	pr_ns	$p \cdot r_n \cdot s$	м · МПа	$0{,}1 \cdot 0{,}269 \cdot 1{,}85 = 0{,}0498$
Об'ємна частка водяної пари	r_{H_2O}	Із таблиці 4.1	—	0,142
Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами	K_r	$K_r^0 \cdot r_n$ $K_r^0 = 8$(рис.4.3)	$1/(м \cdot МПа)$	$8 \cdot 0{,}142 = 2{,}152$
Коефіцієнт ослаблення променів золовими частками	$K_{зл}\mu_{зл}$	$\frac{10^4 \cdot A_{зл} \cdot \mu_{зл}}{\sqrt[3]{(T_т'')^2} \cdot 1 + 1{,}2 \cdot \mu_{зл} \cdot s}$	1/(м·МПа)	$\frac{10^4 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}00554}{\sqrt[3]{(473)^2} \cdot 1 + 1{,}2 \cdot 0{,}00554 \cdot 1{,}85} =$ $= 0{,}63$
Коефіцієнт ослаблення променів частинками коксу	$K_К$	Приймаємо	1/(м·МПа)	10
Вплив концентрації коксових частинок та способу спалювання	χ_1 χ_2	Те ж		0,5 0,03
Коефіцієнт ослаблення променів	К	$K_{зл}\mu_{зл} + K_К \cdot \chi_1 \cdot \chi_2 + K_r$	1/(м·МПа)	$0{,}63 + 10 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}03 +$ $+2{,}152 = 2{,}932$
Параметр забаластованості топкової камери	r_v	$V_г/(V_{N_2}^0 + V_{RO_2})$	$м^3/м^3$	$6{,}751/(3{,}419 + 0{,}859) = 1{,}58$
Критерій Бугера	Bu	KPS	—	2,932·0,1·1,85=0,542

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5
Параметр М	M	$M_0(1+\rho)\sqrt[3]{r_v}$	—	$0{,}46(1+1{,}19)\sqrt[3]{1{,}58}= = 1{,}171$
Ефективне значення критерію Бугера	Bũ	$1{,}6\cdot \ln\left(\frac{1{,}4\cdot Bu^2+Bu+2}{1{,}4\cdot Bu^2-Bu+2}\right)$	—	$1{,}6\cdot \ln\left(\frac{1{,}4\cdot 0{,}542^2+0{,}542+2}{1{,}4\cdot 0{,}542^2-0{,}542+2}\right)= = 0{,}83$
Температура газів на виході	$\vartheta''_{т2}$	$\frac{T_a}{1+M\cdot B\tilde{u}^{0,3}\left(\frac{5{,}67\cdot\psi_{ср}\cdot F_{ст}\cdot}{10^{11}\cdot\varphi\cdot B_P\cdot \frac{\cdot T_a^3}{\cdot V_{c_{ср}}}}\right)^{0,6}+1}-273$	°С	$\frac{1404}{1+1{,}171\cdot 0{,}83^{0,3}\left(\frac{5{,}67\cdot 0{,}145}{10^{11}\cdot 0{,}984}\times \frac{}{}\times\frac{58{,}878\cdot 1404^3}{0{,}0355\cdot 8{,}56}\right)^{0,6}}-273= =203{,}9$
Загальне теплосприймання топки	$Q_т^{пр}$	$\varphi\left(Q_т-I''_т\right)$	кДж/кг	$0{,}984\cdot(13598-2113{,}18)= = 11301{,}06$
Ентальпія газів на виході з топки	$I''_т$	Із I – ϑ таблиці	кДж/кг	2113,18
Середнє теплове навантаження променесприймальної поверхні	$q_{пр}^{ср}$	$\frac{B_P\cdot Q_т^{пр}}{H_{пр}}$	кВт/м^2	$\frac{0{,}0355\cdot 11301{,}06}{24{,}033}=16{,}69$
Розбіжність променистого теплового сприймання	$\varepsilon\left(\vartheta_{т''}\right)$	$\left(\vartheta_{т''2}-\vartheta_{т''}\right)/\vartheta_{т''}$		$\frac{203{,}9-200}{200}=0{,}0195$

Оскільки розрахункова розбіжність є меншою ніж 2 %, то перерахунок не проводимо і на виході з топки приймаємо температуру газів $\vartheta''_т = 204$ °С.

4.2 Розрахунок очисного обладнання

4.2.1 Вибір типу циклона

Для очищення відпрацьованого теплоносія від залишків висушуваного продукту виберемо циліндро-конічний циклон типу СЦН-40 [39].

Циклон СЦН-40 є циліндро-конічним циклоном НДІОгазу і має більш високий ступінь очищення порівняно з відомими циклонами типу ЦН-15, ЦН-11, СК-ЦН-34, УЦ-38. Винесення пилу з циклону СЦН-40 у 2,5 рази менше, ніж із циклону ЦН-15 та в 1,5 рази менше порівняно з циклонами СК-ЦН-34 та УЦ-38 за рівних енерговитрат. Циклони СЦН-40 мають відносно високу швидкість газу в пристінній зоні (до 24 м/с), тому при уловлюванні липкого пилу менш схильні до забивання конуса циклону. Абразивне зношування циклону СЦН-40 за однакових продуктивності та гідродинамічному опорі в 1,25 рази нижче, ніж у циклону ЦН-15. Довжина циліндричної та конічної частини циклону дорівнює 1,6 діаметра. Останнім часом довжину конічної частини циклону приймають рівною 2,0 діаметра.

Циклони СЦН-40 доцільно встановлювати в тих випадках, коли потрібний підвищений ступінь очищення газів та гідравлічний опір не лімітується. Наприклад, ступінь очищення повітря в циклоні діаметром 1,0 м від кварцового пилу з медіанним розміром частинок 10 мкм, щільністю 2,6 г/см^3 при плановій швидкості 1,6 м/с та температурі 20 С становить 93 % за початкової запиленості до 1000 г/м^3 [40].

4.2.2 Початкові дані для розрахунку циклона СЦН-40

- витрата повітря L = 179028 кг/год;
- температура теплоносія після калорифера t_1 = 130 °С;
- барометричний тиск $P_{бар}$ = 101,3 кПа;
- розрідження в циклоні $P_ц$ = 100 Па;
- густина твердих часток $\rho_ч$ = 3000 кг/м^3;
- початкова концентрація твердих часток в газі С = 25 г/м^3;

– дисперсний склад висушеного продукту у відпрацьованому газі d_m = 10 мкм; lg $\sigma_ч$ = 0,7;

– вологовміст сушильного агента на виході з сушарки d_2 = 0,0248 г/кг.

4.2.3 Параметри газу (відпрацьованого теплоносія)

Середня густина сухого повітря

$$\rho_{сп} = \frac{M_{сп}}{\upsilon_0} \frac{T_0}{T_0 + t_{ср}}, \tag{4.10}$$

де $M_{сп}$ – молярна маса сухого повітря, кг/кмоль;

υ_0 – об'єм 1 кіломоля газу за нормальних умов.

$$\rho_{сп} = \frac{29}{22,4} \frac{273}{273+130} = 0,877 \left(\frac{кг}{м^3} \right).$$

Середня густина водяної пари

$$\rho_{вп} = \frac{M_{вп}}{\upsilon_0} \frac{T_0}{T_0 + t_{ср}}, \tag{4.11}$$

де $M_{вп}$ – молярна маса водяної пари, кг/кмоль;

$$\rho_{вп} = \frac{18}{22,4} \frac{273}{273+130} = 0,544 \left(\frac{кг}{м^3} \right).$$

Середня об'ємна продуктивність за повітрям

$$V = \frac{L}{\rho_{сп}} + \frac{d_{ср} \cdot L}{\rho_{вп}}, \tag{4.12}$$

$$V = \frac{179028}{0,877 \cdot 3600} + \frac{0,0248 \cdot 179028}{0,544 \cdot 3600} = 58,97 \left(м^3 / с \right).$$

Густина вологого газу перед циклоном

$$\rho_{п} = \rho_{сп} \frac{1 + d_2}{1 + 1,61 \cdot d_2}, \tag{4.13}$$

$$\rho_{п} = 0,877 \frac{1 + 0,0248}{1 + 1,61 \cdot 0,0248} = 0,864 \left(\frac{кг}{м^3} \right).$$

4.2.4 Вибір кількості циклонів в батареї і розрахунок діаметра

За [41] оптимальна швидкість газу в циклоні типу СЦН-40: w = 3,5 м/с.

Діаметр циклона за оптимальної швидкості

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}}, \tag{4.14}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 58,97}{3,14 \cdot 3,5}} = 2,63 \, (м).$$

Діаметр циклона завеликий. Встановимо збірку з 4 циклонів. Витрата газу на 1 циклон

$$V_{ц} = \frac{V}{4} = \frac{58,97}{4} = 15 \left(\frac{м^3}{с} \right).$$

Уточнюємо діаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 15}{3,14 \cdot 3,5}} = 1,1 \, (м).$$

У відповідності до ГОСТ 9617-67 беремо діаметр циклона 1,0 м.

Дійсна швидкість газу в циклоні

$$w_{ц} = \frac{4 \cdot V_{ц}}{3{,}14 \cdot D^2}, \tag{4.15}$$

$$w_{ц} = \frac{4 \cdot 3{,}6}{3{,}14 \cdot 1{,}0^2} = 3{,}58 \left(\frac{м}{с} \right).$$

Оскільки швидкість середовища практично не змінилась, зупинимося на вибраному діаметрі циклона D = 1, 0 м.

4.2.5 Гідравлічний опір циклона

Коефіцієнт опору циклона

$$\zeta = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{500}, \tag{4.17}$$

де K_1 – поправковий коефіцієнт на вплив діаметра циклону;

K_2 – поправковий коефіцієнт на вплив запиленості газу;

ζ_{500} – коефіцієнт опору циклону діаметром 500 мм.

При включенні циклона в мережу значення ζ_{500} є трохи меншим в порівнянні з викидом газу безпосередньо в атмосферу або у великий об’єм, оскільки при цьомувтрачається енергія вихідного газу. За наявності на виході розкручувача коефіцієнт опору знижується на 20...25%;

За [41], беремо значення:

$\zeta_{500} = 150$; $K_1 = 1{,}0$; $K_2 = 0{,}92$.

Тоді $\zeta = 1{,}0 \cdot 0{,}92 \cdot 150 = 138.$

Гідравлічний опір циклона

$$\Delta P = \zeta \frac{w^2 \cdot \rho_{п}}{2}, \tag{4.18}$$

$$\Delta P = 138 \cdot \frac{3,58^2 \cdot 0,864}{2} = 764\,(\text{Па}).$$

4.2.6 Ефективність циклона

За таблицею 1.4 [41], беремо значення $d_{50}^{т} = 1,0$ і $\lg(\sigma_{\eta}) = 0,308$ для вибраного циклона СЦН-40.

Розмір частинок d_{50}, що вловлюються вибраним циклоном за робочих умов з ефективністю 50 %

$$d_{50} = d_{50}^{т}\sqrt{\frac{D}{D_т}\frac{\rho_{чт}}{\rho_ч}\frac{\mu}{\mu_т}\frac{w_т}{w}}, \qquad (4.19)$$

де $D_т$, $\rho_{чт}$, $\mu_т$, $w_т$ – параметри, що відповідають умовам, за яких отримані табличні значення $d_{50}^{т}$ та $\lg \sigma_{\eta}$;

D, $\rho_ч$, μ, w – параметри, фактичних умов роботи циклона.

$$d_{50} = 1,0\sqrt{\frac{1,0}{0,5}\frac{1930}{3000}\frac{24,8\cdot 10^{-6}}{22,2\cdot 10^{-6}}\frac{3,5}{3,38}} = 1,22\,(\text{мкм}).$$

Параметр x

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_m}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2(\sigma_{\eta}) + \lg^2(\sigma_ч)}}, \qquad (4.20)$$

$$x = \frac{\lg\left(\frac{10}{1,22}\right)}{\sqrt{0,308^2 + 0,7^2}} = 0,699.$$

Значення нормальної функції розподілу Ф(x), за [6]: Ф(0,699) = 0,7571.

4.2.7 Розрахунок гідравлічного опору циклонної батареї

Оскільки планується встановлення групи циклонів з 4 штук, циклони потрібно зібрати в батарею.

Незаперечною перевагою батарейних циклонів перед одиночними є те, що батарейні циклони можна розрахувати на витрати газів, які є занадто великими для групи одинарних циклонів; за тієї ж самої витрати газу батарейний циклон значно компактніший за групу одинарних циклонів [42].

В порівнянні з одинарними батарейні циклони мають ряд недоліків:

– підвищена металоємність, що становить 210...510 кг металу на очищення газу 1000 м^3/год, тобто в порівнянні з одинарними циклонами вдвічі більшу;

– меншу експлуатаційну надійність через можливість нерівномірного розподілу очищуваного середовища між елементами циклонної збірки та підсмоктування повітря через загальний бункер;

– можливість засмічення завихрювача за початкової запиленості газу понад 100 г/м^3.

Для групи циклонів (батареї) загальний коефіцієнт гідравлічного опору повинен містити коефіцієнт, який би враховував додаткові втрати тиску, що виникають при компонуванні циклонів у групу прямокутного компонування.

Для прямокутного компонування циклонні елементи мають розташовуватися в одній площині. Відведення чистого газу із загальної камери – $К_З = 35$.

$$\zeta_{гц} = \zeta_{ц} + К_З, \tag{4.21}$$

$$\zeta_{гц} = 138 + 35 = 173.$$

Гідравлічний опір циклонної установки із чотирьох циклонів.

$$\Delta P = \zeta_{гц} \frac{w^2 \cdot \rho_{п}}{2}, \tag{4.22}$$

$$\Delta P = 173 \frac{3{,}58^2 \cdot 0{,}864}{2} = 958\,(\text{Па}).$$

4.3 Монтаж допоміжного обладнання

4.3.1 Загальна характеристика об’єкта, що підлягає монтажу

Циклонні фільтри або циклони є фільтраційними пристроями, які використовують інерційні відцентрові сили для видалення твердих часток з забрудненого газового середовища. Циклонні сепаратори є одним з декількох пристроїв фільтрації забрудненого газового середовища, оскільки вони видаляють частинки великих фракцій.

Циклони типу СЦН-40 є досить універсальним типом циклонів. Призначені вони для сухої очистки газових середовищ, що виділяються при технологічних процесах (сушінні, випаленні, спалюванні палива, агломерації тощо), та аспіраційного повітря в різних галузях промисловості (хімічної промисловості, чорної та кольорової металургії, промисловості будівельних матеріалів, нафтової та машинобудівної промисловості, енергетики тощо).

Циклони типу СЦН використовують для помольних і дробильних установках, при транспортуванні сипких матеріалів, а також летючої золи, відрізняються кутом подачі повітря [39,43].

Працюють циклонні сепаратори на принципі центрифуги. У циклонних сепараторах забруднене газове середовище подається до камери. В середині камери створюються спіральні вихори, подібні до торнадо. Чисті гази мають меншу інерційність, тому вони, через спеціальну форму камери, проходять далі по магістральному газопроводі, а тверді частки через їх більшу інерційність і під дією відцентрової сили інерції відфільтровуються. Частки з більшою густиною потрапляють на внутрішні стінки камери та опускаються в збиральний бункер. Нижня частина камери має конусну форму, я це сприяє осадженню часток в бункер. Очищений газ через верхню частину очисника-сепаратора рухається далі в магістраль [43].

Більшість циклонних фільтрів розроблено для відфільтровування твердих частинок діаметром більше 10 мкм. Разом з тим, існують такі циклонні фільтри, які спроектовані таким чином, щоб можна було відфільтровувати

частинки розміром до 2,5 мкм. Однак ці сепаратори не є ефективними на дуже великих твердих частках, наприклад, для твердих часток розміром близько 200 мікрон.

З усіх фільтраційних пристроїв твердих часток, циклонні сепаратори є одними з найдешевших. Їх часто використовують для попередньої фільтрації, щоб повітря потрапляло до основних фільтрів з меншими ступенями забруднення. Тому циклонні сепаратори можна розглядати як первісні, або «грубі сепаратори», перед тим як очищуване середовище досягне тонких етапів фільтрування.

Відомо, що циклонні фільтри можуть видалити біля 50-99% всіх забруднень у стисненому повітрі, але ці відсотки багато в чому залежать від розмірів твердих часток;

Циклонні сепаратори недорогі в установці та обслуговуванні і не мають рухомих частин. Саме через це витрати на технічне обслуговування та експлуатацію суттєво знижуються.

Відфільтровані тверді частки збирають в сухому вигляді, це значно полегшує їх видалення.

Циклони займають малі площі при встановлення та можуть працювати за високих температур.

Циклонні фільтри допомагають економити фінанси, оскільки їх використання збільшує терміни служби і картриджних і рукавних фільтрів. Вони вловлюють більшість пилових частинок до потрапляння в фільтр-елементи, або картриджі, за рахунок цього останні не будуть так швидко заповнюватися [44, 45].

4.3.2 Розрахунки та комплектація основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

До монтажних робіт при модернізації теплової схеми сушарки входить монтаж збірки циклонів СЦН-40-1000, масою 4336 кг, газодувки ТВ-600-1,1 загальною масою (в зборі з електродвигуном) 1400 кг та повітропроводів з

відповідною арматурою.

В результаті аналізу конструктивних особливостей об’єкту складено перелік основних та допоміжних виробів та матеріалів. Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведенні у таблиці 4.5.

Для монтажу циклонної збірки застосовують несучу конструкцію (металеву монтажну раму), масу якої потрібно також врахувати при транспортуванні. Монтажна рама виготовлена з мірного прокату (швелери і кутники), сортамент і маса представлена в табл. 4.6.

Таблиця 4.5 – Відомість витрат матеріалів

№ п.п.	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Основні матеріали					
1	Збірка циклонів СЦН-40-1000	шт	1	4336	4336
2	Газодувка ТВ-600-1,1	шт	1	1400	1400
3	Віброопори	шт	4	7	28
4	Повітропроводи із нержавіючої сталі класу Н з фланцями та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа, що монтуються з готових вузлів, перерізом 670×670×1,0 мм.	$м^2$	21,0	7,85	164,9
5	Повітропроводи із нержавіючої сталі класу Н з фланцями та зварними стиками на умовний тиск не більше 2,5 МПа, що монтуються з готових вузлів, прерізом 450×670×1,0 мм.	$м^2$	21,9	7,85	172
6	Заслінки дросельні SKG-A Dy670	шт	1	50	50
7	Заслінки дросельні SKG-A Dy540	шт	1	45	45
8	Відвід 90° 670×1 вентиляційний прямокутний ДСТУ EN 12599:2006	шт	3	8,16	24,32
9	Відвід 90° 670×450×1 вентиляційний ДСТУ EN 12599:2006	шт	2	9,42	18,84
10	Вставка гнучка 670×450 мм	шт	1	8,0	8,0
11	Гнучка вставка прямокутного перетину №6,3	шт	1	8,3	8,3
12	Стрічка 3х20 Ст3кп ДСТУ ГОСТ 6009-74	т	0,0012	0,0012	0,0012

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5	6
Допоміжні матеріали					
8	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1] діаметр 8 мм.	т	0,00084		1,82
9	Виріб гумовий технічний морозостійкий	кг	7,58		16,5
10	Болти будівельні з гайками і шайбами	т	0,011		23,9
2	Болти анкерні	т	0,0014		5,6
12	Зварювальні електроди, марка ЭА400	т	0,00039		8,5
13	Мастика герметизуюча нетвердіюча "Гэлан"	т	0,00513		11,1

Загальна маса матеріалів 6222,5 кг.

Таблиця 4.6 – Сортамент, довжина і маса прокату для монтажної рами

№ п.п.	Найменування прокату	Одиниці вимірювання	Довжина, м	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	Швелер 14У	м	6,2	6	12,3	457
2	Швелер 10У	м	5	14	8,59	515,4
3	Кутник 75×75×6	м	5	6	6,89	206,7
	Допоміжні матеріали					
	Електроди, марка Э55, 4 мм	т		0,0072		7,2
	Круг відрізний 300 мм	т		0,003		3

Маса матеріалів для монтажної рами 1187,5 кг

Загальна маса усіх матеріалів, що потрібні на встановлення системи, складає 6222,5+1187,5 = 7410 кг.

4.3.3 Визначення складу і об’ємів робіт

Склад робіт:

– доставка деталей до місця монтажу і їх складування;

– монтаж рами;

– розмітка місць прокладання трубопроводів;

– монтаж циклонної збірки;

– монтаж газодувки;

– встановлення віброопор;

– монтаж вставок гнучких;

– прокладання повітропроводів 900 мм;

– прокладання повітропроводів 1000 мм;

– монтаж заслінок дросельних;

– робоче випробування системи циркуляції теплоносія;

– остаточна перевірка системи і здача системи в експлуатацію;

– повернення допоміжного обладнання на склад.

Об’єми робіт:

– доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання в тоннах. Загальна маса усіх деталей 7410 кг (див. табл 4.1). Приймаємо об’єм робіт V = 7,41;

– встановлення рами. Одиниці вимірювання в тоннах. Приймаємо об’єм робіт V =1,18 [46];

– розмітка місць прокладання трубопроводів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі повітропроводів складає L =6,03 м. Приймаємо V = 0,06 [47];

– монтаж циклонної збірки. Одиниці вимірювання в штуках. Встановлюється одна збірка циклонів загальною масою 4336 кг. Приймаємо V = 1 [47];

– монтаж нагнітальної машини в зборі з двигуном. Одиниці вимірювання штуки. Встановлюється 1 газодувка масою 1400 кг. Приймаємо V = 1 [47];

– встановлення віброопор. Одиниці вимірювання 10 штук. Встановлюється 4 віброопори. Приймаємо V = 0,4 [47];

– встановлення вставок гнучких. Одиниці вимірювання $м^2$. Встановлюється 2 вставки, загальною площею 2,1 $м^2$. Приймаємо V = 2,1 [47];

– прокладання повітропроводів перерізом 900 мм. Одиниці вимірювання 100 метрів. Їх довжина складає 2,63 м. Приймаємо об’єм робіт V = 0,026 [47];

– прокладання повітропроводів діаметром 1000 мм. Одиниці вимірювання 100 метрів. Їх довжина складає 3,4 м. Приймаємо об’єм робіт V = 0,048 [47];

– монтаж заслінок дросельних. Одиниці вимірювання 1 штука. Встановлюється 2 заслінки SKG-A. Приймаємо об’єм робіт V = 2 [47];

– перше робоче випробування системи циркуляції сушильного агента. Одиниці вимірювання в 100 метрах. Загальна довжина коробів становить 6,03 м. Приймаємо V = 0,063 [47];

– остаточне випробування і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання в 100 метрах. Загальна довжина коробів становить 6,03 м. Приймаємо V = 0,063 [47];

– повернення залишків на склад. Одиниці вимірювання в тоннах. Загальна маса усього обладнання 110 кг. Приймаємо об'єм робіт V = 0,11.

4.3.4 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт

Монтаж циклонної збірки і газодувки виконується в зібраному вигляді. Для їх розвантажування на монтажному майданчику, доставки їх від місця складування до місця монтажу необхідно використати підйомно-транспортний механізм. Оскільки маса названого обладнання не перевищує 5000 кг (див. табл. 4.6), а несуча рама для циклона монтується на місці, для цих операцій можна використовувати автокран КТА-18.01 на базі автомобіля МАЗ, характеристики якого представлені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Технічні характеристики автокрана КТА-18.01 [48]

№	Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	Вантажопідйомність	кг	18000
2	Висота підйому	м	18,2
3	Будівельна висота	м	13,0
4	Паливо	вид	дизель
5	Щогла	-	триплекс
6	Витрата палива в рейсі	л/100 км	21,5
7	Витрата палива при роботі крана	л/год	15,2

Обладнаня і деталі для монтажу до монтажного майданчика планується доставляти автомобілем VOLVO FH13, технічні характеристики якого представлені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Технічні характеристики Volvo FH13 [49]

№	Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	Вантажопідйомність	кг	10500
2	Двигун	-	електро
3	Запас ходу	км	300
4	Потужність двигуна	кВт	400
5	Час зарядки	год	9,5

Для різальних робіт по металу і бетону застосовується кутова шліфмашина Bosch HWS 810/300, технічні характеристики якої представлені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Технічні характеристики кутової шліфмашини Bosch HWS 810/300 [50]

№	Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	Потужність	Вт	2000
2	Маса	кг	11,6
3	Діаметр круга	мм	300
4	Тип живлення	-	електрична
5	Клас захисту	-	IP33

Для зварювальних робіт застосовується зварювальний апарат інверторного типу PATON™ PRO-200 D, Технічні характеристики якого представлені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Технічні характеристики апарата зварювального PATON™ PRO-200 D [51]

№	Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	Номінальний зварювальний струм	А	200
2	Маса	кг	5,6
3	Потужність номінальна	кВА	6,0
4	Тип живлення	-	електричний
5	Напруга холостого ходу	В	12/75
6	Клас захисту	-	IP33

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розглянуто питання охорони праці в процесі модернізації теплової схеми сушарки псевдокиплячого шару. Під час модернізації електричної та теплової схем сушарок потрібно розробити та використовувати проєктну та нормативно-технічну документацію. Для безпечного та ефективного виконання монтажних робіт працівники повинні бути забезпечені всім потрібним будівельним обладнанням та інструментами. Крім того, потрібно створити для них нешкідливі та безпечні умови праці.

Отже, на будівельно-монтажний персонал, що вдосконалює електричну та теплову схеми сушарок, впливають такі шкідливі виробничі фактори [1, 2]:

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

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

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

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об’єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час монтажу інженерних систем теплової схеми сушарки монтажники повинні отримуватися правил охорони праці в будівництві [3], за якими

потрібно перебувати на раніше встановлених і надійно закріплених конструкціях чи засобах підмощування. Забороняється перебування людей на елементах конструкцій і обладнання під час їх піднімання та переміщення.

Монтаж трубопроводів і повітроводів на естакадах необхідно виконувати з інвентарного риштування, обладнаного сходами для піднімання та спускання працівників. Піднімання та спускання конструкціями естакад не допускається. Забороняється перебування людей під обладнанням, що встановлюється, монтажними вузлами обладнання і трубопроводів до їх остаточного закріплення.

Монтаж обладнання, трубопроводів і повітропроводів поблизу електричних мереж (у межах відстані, яка дорівнює найбільшій довжині вузла чи ланки трубопроводу, що монтується) виконується при знятій напрузі. За неможливості зняття напруги роботи необхідно виконувати за нарядом-допуском, затвердженим у визначеному порядку.

Під час переміщення конструкцій чи обладнання відстань від них і до частин змонтованого обладнання, конструкцій, що виступають, повинна бути по горизонталі не менше ніж 1,0 м, а по вертикалі – не менше ніж 0,5 м. Під час перерви у роботі залишати підняті елементи конструкцій і обладнання у піднятому стані заборонено.

Установлені в проектне положення елементи конструкцій чи обладнання повинні бути закріплені так, щоб забезпечувалася їх стійкість і геометрична незмінність. Забороняється виконання монтажних робіт на висоті у відкритих місцях за швидкості вітру 15 м/с і більше, під час ожеледі, грози, туману, що унеможливлює видимість у межах фронту робіт.

5.1.2 Електробезпека

Живлення будівельного обладнання та системи освітлення здійснюється трифазною чотиридротовою мережею із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [4, 5] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення. Електропривод насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

Будівельно-монтажний персонал під час використання електрифікованого інструменту повинен дотримуватися таких правил з охорони праці [4, 5]. Електрифікований інструмент за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізольовані і штепсельна вилка має заземлювальний контакт. У електроінструмента класу I всі деталі, що перебувають під напругою, можуть бути з основною, а окремі деталі – з подвійною або посиленою ізоляцією; II – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію, Цей електроінструмент не має пристроїв для заземлення. Номінальна напруга для електроінструмента класів I і II має бути не більше 220 В для електроінструмента постійного струму; 380 В – для електроінструмента змінного струму; III – електроінструмент на номінальну напругу не вище 42 В, у якого ні внутрішні, ні зовнішні кола не перебувають під іншою напругою. Електроінструмент класу III призначений для живлення від безпечної наднизької напруги.

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструмента класу I, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, повинні бути з’єднані із заземлювальним затискачем. Електроінструмент класів II і III не заземлюють.

Працівники, допущені до роботи з електроінструментом, повинні спочатку пройти навчання і перевірку знань щодо безпечного виконання робіт з застосуванням електроінструменту. До роботи з електроінструментом класу I в приміщеннях з підвищеною небезпекою та поза приміщеннями допускаються працівники з II групою електробезпеки. До роботи з електроінструментом II і

III класу достатньо I групи з електробезпеки.

У приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом достатньо застосувати діелектричні рукавиці, а в приміщеннях зі струмопровідними підлогами – також і діелектричні калоші або килими. Електроінструментом класів II і III дозволяється працювати без застосування індивідуальних засобів захисту в приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом.

У посудинах, апаратах та інших металевих спорудах в умовах обмеженої можливості переміщення і виходу з них дозволяється працювати електроінструментом класів I і II за умови, якщо тільки один електроінструмент одержує живлення від автономної двигун-генераторної установки, розподільчого трансформатора безпеки або перетворювача частоти із роздільними обмотками, а також електроінструментом класу III. В цьому разі джерело живлення (трансформатор, перетворювач тощо) слід розміщувати поза вказаними посудинами, а вторинне коло джерела не слід заземлювати.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [6]. Мікроклімат приміщення характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в таблиці 5.1. Робота з монтажу системи опалення та її обладнання відноситься до категорії IIб по важкості праці.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, *Х*
Холодний	IIб	13-23	75	не більше 0,4
Теплий		15-29	70 при 25 °С	0,2-0,5

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [6].

Під час монтажу системи опалення 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 [6] наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні монтажника

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

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до ДБН проектом передбачені наступні рішення [7]:

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

- необхідно здійснювати контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;

- застосовувати природну вентиляцію: організовану та неорганізовану.

5.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8] розряд зорової роботи V, підрозряд «в». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природнє Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5,0 включно	V	в	малий	світлий	-	200	1	0,6

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

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

5.2.4 Виробничий шум

Під час монтажу системи опалення на будівництві джерелом шуму є будівельне обладнання, машини, механізми та переносний електроінструмент –

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

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 на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [9] і наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньогеометричними частотами, Гц								
	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

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.

5.2.5 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 (підошви ніг або сідниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [10] і наведені в

таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

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

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 уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об`єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12]. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [13], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Отже, приміщення, де встановлене обладнання сушарки псевдокиплячого шару, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії В (пожежонебезпечна) – горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини та матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або

Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м^2 кожна перевищує 180 МДж·м$^{-2}$.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.6.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення категорії В, характеризується II ступенем вогнестійкості. До II ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огороджувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 5.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.8 (знаменник) [15].

Таблиця 5.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

Таблиця 5.7 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				колони	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття між поверхові (у т.ч. горищні та над підва-лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовніш-ні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Таблиця 5.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIа, IIIб, IV, IVа, V
I, II	6/9	8/9	10/12

На території сільськогосподарського підприємства встановлено 12 газових вогнегасників ВВК-7 і 19 порошкових вогнегасника ВВП-5 (ВП-5) [16].

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено заходи для модернізації теплової схеми сушарки з псевдозрідженим шаром КЦС-2000.

Виконано матеріальний, тепловий, конструктивний та гідравлічний розрахунки. В результаті розрахунків отримані такі результати: розрахунок вологи, що видаляється з цукру W = 0,7758 кг/с; витрати повітря на сушіння L=49,73 кг/с; витрата тепла на сушіння Q = 119,352 кДж/кг; діаметр сушарки D = 9 м; висота псевдозрідженого шару, що висушується H = $2{,}645 \cdot 10^{-3}$ м. В якості нагнітальної машини для сушарки вибрано газодувку типу ТВ-600-1.1.

Спроєктовано та розраховано топку теплогенератора на пшеничній соломі. Теплогенератор призначений для отримання грійного теплоносія в процесі згорання тюкованої соломи. Визначено ентальпії повітря і відхідних газів. ККД топки склав $\eta = 80{,}6\%$, витрата палива $B_P = 0{,}0355$ кг/с.

Виконано розрахунок збірки циклонів на базі циклона СЦН-40 для очищення відпрацьованого теплоносія від залишків пилоподібної сировини. Розрахунки показали, що для забезпечення надійного очищення необхідна збірка з 16 циклонів СЦН-40 діаметром 1 метр. Гідравлічний опір такого циклона 764 Па, гідравлічний опір збірки – 958 Па. Коефіцієнт очищення відпрацьованого повітря від часточок сировини діаметром 1,22 мкм склав 0,757.

Розроблено технологію монтажу газоочисного обладнання в схему сушарки з метою підвищення екологічної чистоти процесу сушіння. Визначено необхідність основних та допоміжних матеріалів для монтажу, маса яких склала 7410 кг. Визначено склад необхідних робіт і їх об’єми. Підібрано допоміжне обладнання і пристосування для монтажу.

Розроблено заходи з охорони праці.

Виходячи з результатів зроблених розрахунків можна зробити висновок, що сушіння цукру-піску в псевдозрідженому шарі є ефективним способом, який характеризується великою продуктивністю, швидкістю та простотою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Цукор у киплячому шарі. URL : https://propozitsiya.com/ua/zerno-u-kyplyachomu-shari. (дата звернення 07.05.2025.).

2. 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.

3. Паламарчук І. П., Берник П. С., Стецько З. А., Яськов В. В, Зозуляк І. А. А. Тепломасообмінні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 2: навч. посібн. Львів: Бескид Біт, 2006. 368 с.

4. Атаманюк В. М. Зовнішній тепломасообмін під час фільтраційного сушіння // Промышленная теплотехника. 2006, Т.28, №5, С.47–54.

5. Дубинін А. І., Гаврилів Р. І., Гузьова І. О. Процеси та апарати хімічної технології. Львів: 2012, 360 с.

6. Дацишин О. В., Гвоздєв О. В., Ялпачик Ф. Ю. Рогач Ю. П. Механізація переробки і зберігання плодоовочевої продукції. Київ: Мета, 2003. 203 с.

7. Співак, О., П'ятак, А., Таранюк, К. (2025). Вплив відносної вологості оточуючого повітря на термічний опір багатошарової стіни. В ВНТКП ВНТУ. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії. Отримано з https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23675 . (дата звернення 30.05.2025).

8. Український біотопливний портал. Сушильный комплекс СК – 1000. URL: https://pelleta.com.ua/sushilnyj-kompleks-sk-1000-87-000-grn-o21508.html . (дата звернення 07.05.2025.).

9. Сушильне обладнання. СК-1000. URL : https://lts.net.ua/ukr/main.html (дата звернення 08.05.2025).

10. Сушильно-охолоджувальна установка СПС-20. URL : https://farsal.ua/spravochnik/sakharnaya-promyshlennost/407-sushilno-okhladitelnaya-ustanovka.html . (дата звернення 09.05.2025.).

11. Петриченко І. Б., Резніченко Ю. М. Інтенсифікація технологічних

процесів: Курс лекцій для студентів спеціальності 7.05170111" Технології цукру та полісахаридів" ден. та заочн. форм навч. Київ: НУХТ, 2013. 171 с.

12. Сушарка киплячого шару. URL : https://ukr-plast.com.ua/uk/sushilka-sks-150 (дата звернення 10.05.2025).

13. Скорик К. Д. Промислова кристалізація цукру: навч. посіб. Київ: ІПДО НУХТ, 2004. 202 с.

14. Переваги псевдозрідженого шару. URL : https://ua.wlpowderline.com/dryer-machine/gfg-fluid-bed-dryer/fluid-bed-dryer.html (дата звернення 10.05.2025.).

15. Присяжнюк Д. В. Обґрунтування параметрів процесу та розробка вібро-озонуючого комплексу для сушіння зернової сировини : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2019. 250 с.

16. Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2014. 115 с.

17. Конструкція та розрахунки параметрів камерної сушарки. Методичні вказівки для студентів спеціальності 8.05050313 Обладнання переробних і харчових виробництв ОКР Бакалавр. Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016. 23 с.

18. Бурдо Т. Г., Зиков Т. О., Гайда С. В. Нові принципи термообробки зерна. Наук. праці. ОДАХТ. Одеса., 1999. №31. С. 223-229.

19. Екологія агросфери: підручник / О. І. Фурдичко, О. І. Дребот, О. С. Дем'янюк, Є. Д. Ткач, А. А. Бунас. Київ: ДІА, 2022. 336 с.

20. Ткаченко С. Й., Степанова Н. Д. Гідрогазодинаміка (приклади і задачі) : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2012. 180 с.

21. Газодувка ТВ-600-1,1. URL : https://ukrvent.ua/ventilyator-vvd-4-z-dv-1-5-3000_4 . (дата звернення 12.05.2025).

22. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ. 2008. 98с.

23. Яровий І. І., Маренченко О. І., Алі В. П. Технічна реалізація процесу

комбінованого сушіння рослинної сировини / Scientific Works 88(1): December 2024. P.113-121.

24. Система опалення сушильної камери. URL : https://www.galactic.kiev.ua/pages/drying_cameras_equipment/convective_drying_chamber.php / (дата звернення 16.05.2025).

25. Штангеєв, К. О. Сушка цукру та жому в бурякоцукровій галузі. Київ : ЮНІДО-ГЕФ, 2015. 44 с.

26. Переваги та недоліки вібраційного псевдозрідженого шару та енергозберігаючі заходи. URL : https://ua.pharma-packing-machine.com/news/ advantages-and-disadvantages-of-vibrating-flui-40825016.html . (дата звернення 16.05.2025).

27. Безбах І. В. Утилізація енергії вологого повітря в рекуперативній зерносушарці. Наукові праці ОНАХТ, вип.46, т.1. С. 197-200.

28. Конспект лекцій з дисципліни «Сучасні технології сушіння та випалювання матеріалів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 144 Теплоенергетика / Укл. доцент Долгополов І.С. Кам'янське, ДДТУ, 2018. 75 с.

28. Переваги та недоліки вібраційного псевдозрідженого шару та енергозберігаючі заходи. URL : https://ua.pharma-packing-machine.com/news/ advantages-and-disadvantages-of-vibrating-flui-40825016.html. (дата звернення 17.05.2025).

29. Вартість заготівлі соломи зернових. URL : https://saf.org.ua/news/1128/#:~:text. (дата звернення 17.05.2025).

30. Вирощування енергетичних культур для власного споживання у територіальних громадах України. URL : https://u-lead.org.ua/storage/admin/files/eff925dd2c23a1e6564fbc8c89f8ba4f.pdf. (дата звернення 17.05.2025).

31. Скільки коштує тонна тріски? URL : https://bora.prosto.cx.ua/maysternist/skilki-koshtuie-tonna-triski.html. (дата звернення 17.05.2025).

32. Вугілля марки ДГ 13-100. URL : https://icoal.com.ua/uk/product/vugillya-marky-dg-13-100-czina-za-1-tonnu/. (дата звернення 17.05.2025).

33. Нафтогаз. Тарифи. URL : https://gas.ua/uk/business/tariffs. (дата звернення 17.05.2025).

34. Степанов Д. В., Корженко Є. С., Боднар Л. А. Котельні установки промислових підприємств. Вінниця : ВНТУ, 2011. 120 с.

35. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. Котельні установки : навч. посібн.: Вінниця : ВНТУ, 2016. 185 с.

36. ДБН В.2.5-77 : 2014. Котельні. Київ : Мінрегіон України, 2014. 52 с.

37. Чепурний М. М., Степанов Д. В., Корженко Є. С. Теплові розрахунки парогенераторів: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2006. 155 с.

38. Методика розрахунку теплового балансу котельного агрегату. URL : https://studfile.net/preview/5411489/page:4/ (дата звернення 20.05.2025).

39. Циклон СЦН-40. Київський вентиляторний завод. URL: https://ventzavod.com/ru/ventilation/cyclones/scn-40/ (дата звернення 20.05.2025).

40. Корнієнко Я. М., Лукач Ю. Ю., Мікульонок І. О., Ракицький В. Л., Рябцев Г. Л. Процеси та обладнання хімічної технології, Частина 1, Київ: НТУУ «КПІ» 2011.-297с.

41. Розрахунок продуктивності, ефективності пиловловлення та гідравлічного опору циклонів. URL : https://www.metallum.com.ua/ua/blog/czikloni/rozraxunok-produktivnosti,-efektivnosti-pilovlovlennya. (дата звернення 20.05.2025).

42. Методичні вказівки до виконання курсових проектів з курсу „Технологія та обладнання захисту атмосфери” для студентів спеціальності 6.040106 „Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування” / Укл. О. І. Іваненко. Київ : ТОВ „Інфодрук”, 2012. 107 с.

44. Циклонні сепаратори. Особливості та принцип їх роботи. URL : https://abtechnologies.com.ua/korysni-instrumenty/tsiklonni-separatori-osoblivosti-ta-printsip-yih-roboti/ (дата звернення 21.05.2025).

45. Лютий Є. М., Нахаєв П. П., Ляшеник А. В. Ефективність застосування циклонів із фільтруючими зовнішніми стінками // *Наук. вісник*

УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. Львів: УкрДЛТУ. 2001, вип.12.2. С. 121-125.

46. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 9. Металеві конструкції. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 141 с. URL: https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/399b64a5-df06-4b5d-bacb-ab93c_3408a2a.pdf (дата звернення: 23.05.2025).

47. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 150 с. URL: https://econstruction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/d55e5c6b-59be-464f-a9f6-0c2555f5ad79.pdf (дата звернення: 24.10.2025).

48. Автокран КТА-18.01. URL: https://prom.ua/ua/p3332750-avtokran-kta-1801.html?utm_source=google_product&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=KT.html (дата звернення 24.05.2025).

49. Технічні характеристики Volvo FH. URL : https://www.volvotrucks.com.ua/uk-ua/trucks/models/volvo-fh/specifications.html#accordion-21dbced379-item-530b5bc40e (дата звернення 22.05.2025).

50. Шліфмашина кутова Bosch HWS 810/300. URL : https://www.moto-blok.biz/ru/catalog/177/uglovye-shlifmashiny-bolgarki-bosch/50135/bolgarka-uglovaya-shlifmashina-bosch-hws-810300-0602335004.html (дата звернення 22.05.2025).

51. Апарат зварювальний PATON™ PRO-200 D. URL : https://paton.ua/ru/svarochnoe-oborudovanie/svarochnye-invertory-mma/svarochnyj-apparat-paton-pro-200-d/ (дата звернення 22.05.2025).

52. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073. (дата звернення 31.05.2025).

53. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних

матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv-. (дата звернення 31.05.2025).

54. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

55. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

56. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/ rada/show/v0272203-01#Text. (дата звернення 31.05.2025).

57. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: http://mozdocs.kiev.ua/view. php?id=1972. (дата звернення 31.05.2025).

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

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

60. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html. (дата звернення 31.05.2025).

61. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99. (дата звернення 31.05.2025).

62. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від

2021-01-22]. Вид. офіц. К. : МВС України, 2014. 47 с.

63. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.

64. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 75 с.

65. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 31 с.

66. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-02-01]. Вид. офіц. К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 35 с.

67. Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників. Наказ МВС № 765 від 28.10.2020. [Чинний від 2021-01-26]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text. (дата звернення 31.05.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація теплової схеми сушарки псевдокиплячого шару КЦС-2000

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

Підрозділ ФБЦЕІ, кафедра ТЕ, група ТЕ-23мс
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 13,6 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:
Степанов Д.В., зав. кафедри ТЕ _____ (підпис)
(прізвище, ініціали, посада)

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

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

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ (підпис) Співак О.Ю.
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____ (підпис) Таранюк К.Ю.
(прізвище, ініціали)

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

Зав. кафедри _____ Д.В. Степанов

Додаток Б

(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ

к.т.н., доц.

_____ Д.В. Степанов

підпис

"____" _____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу:

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ СУШАРКИ ПСЕВДОКИПЛЯЧОГО ШАРУ КЦС-2000

08-15.БКР.013.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доц.

_____ Співак О.Ю.

Виконавець: студент гр. ТЕ – 23мс

_____ Таранюк К.Ю.

Вінниця 2025

1 Тематика розробки та галузь її застосування

Розробка стосується промислової теплоенергетики і присвячена питанню енергозбереження і використання сушарки з псевдозрідженим шаром для сушіння цукру КЦС-2000 на альтернативний вид палива та підвищення екологічної чистоти навколишнього середовища.

2 Мета і призначення розробки

Переведення сушарки з псевдозрідженим шаром на роботу від теплогенератора на твердому альтернативному біопаливі з метою зниження собівартості готової продукції, зниження енергоспоживання, підвищення екологічної чистоти сушильної установки, забезпечення високоякісної сушеної продукції стабільно високої якості з мінімізацією вимог щодо кваліфікації обслуговуючого персоналу, розрахунок необхідного допоміжного обладнання.

3 Основа для виконання робіт

Основою для виконання робіт є наказ ректора ВНТУ № 97 від 20.03.2025 р., документація на сушарку з псевдозрідженим шаром КЦС-2000, розробки і патентна документація фірми «ТЕХНОПРОМ ” та матеріали роботи інституту технічної теплофізики НАН України, потреба знаходження нових альтернативних відновлювальних джерел теплоти, зниження енергетичних витрат. Це дає можливість отримати в результаті використання ефективної сушильної техніки високоякісні сушені продукти найвищого гатунку, котрі користуються великим попитом на внутрішньому і міжнародному ринках. Для підвищення енергоефективності сушарки і зменшення втрат корисної теплової енергії в атмосферу використовується додаткове теплоенергетичне та теплообмінне обладнання.

4 Технічні вимоги

4.1 Використання твердого біопалива для одержання теплоти у теплогенераторі. Визначення температури повітря на всіх етапах підігріву та сушіння, витрати повітря для основного технологічного процесу та для рециркуляції. Схематичне зображення сушарки на плакатах, креслення топки та очисного обладнання. Дотримання стандартів щодо виготовлення готової продукції та її якості.

4.2 Основні технічні показники:

- температура свіжого повітря t_0 = 10 °С;
- вологість свіжого повітря φ_0 = 75%;
- температура сушіння t'_1 = 110 °С;
- вологість вихідного сушильного агента φ_2 = 40%;
- видатність сушарки G = 16 т/год;
- початкова вологість зерна $\omega' = 22\%$;
- температура зерна після сушіння $\vartheta'' = 30\,°C$;
- кінцева вологість зерна після охолодження ω_3 = 14%;

8 Етапи розробки та терміни їх виконання

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Прим.
		початок	закінчення	
1.	Аналіз літературних та патентних джерел	25.03.2025	28.03.2025	
2.	Розрахунок сушарки КЦС-2000	29.03.2025	05.04.2025	
3.	Багатоваріантний аналіз	06.04.2025	10.04.2025	
4.	Розрахунки допоміжного обладнання	11.04.2025	25.04.2025	
4.1	Топка на соломі	26.04.2025	10.05.2025	
4.2	Розрахунок очисного обладнання	11.05.2025	16.05.2025	
4.3	Розроблення рекомендацій з монтажу	17.05.2025	25.05.2025	
5.	Охорона праці	25.05.2025	01.06.2025	
7.	Оформлення висновків по роботі	02.06.2025	04.06.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	02.06.2025	04.06.2025	
9.	Перевірка на антиплагіат	05.05.2025	06.06.2025	
10.	Нормоконтроль	06.06.2025	07.06.2025	
11.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	07.06.2025	11.06.2025	
12.	Захист БДР ЕК	12.06.2025	12.06.2025	

6 Перелік графічного матеріалу

– сушарка КЦС-2000;
– циклон СЦН-40;
– топка сушарки КЦС-2000 на соломі;
– схема монтажна аксонометрична;
– монтаж збірки циклонів;
– показники роботи топок на різних видах палива для сушарки КЦС-2000;
– графічні залежності.

7 Порядок контролю та прийняття бакалаврської роботи

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання БКР.

Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедри згідно з графіком захисту.

Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

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

Додаток В

(обов’язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ СУШАРКИ
ПСЕВДОКИПЛЯЧОГО ШАРУ КЦС-2000

Студент _____ Таранюк К.Ю.

Керівник роботи _____ Співак О.Ю.

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				Документація		
			08-15.БКР.013.01.00.000 СК	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
		1	08-15.БКР.013.01.01.000	Сушильна камера	1	
		2	08-15.БКР.013.01.02.000	Камера нагнітання	1	
		3	08-15.БКР.013.01.03.000	Направляючі елементи	1	комплект
		4	08-15.БКР.013.01.04.000	Механізм вивантаження	1	
		5	08-15.БКР.013.01.05.000	Збирач	1	
		6	08-15.БКР.013.01.06.000	Сітка захисна	1	
		7	08-15.БКР.013.01.07.000	Кришка конусна	1	
				Деталі		
		8	08-15.БКР.013.01.00.008	Прокладка ущільнююча ПОН 5	1	
		9	08-15.БКР.013.01.00.009	Гвинт натяжний	4	
				Стандартні вироби		
		10	08-15.БКР.013.01.00.010	Болт М22 ДСТУ 7805 5.8	20	
		11	08-15.БКР.013.01.00.011	Гайка М22 ДСТУ 5915 5.0	20	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	08-15.БКР.013.01.00.000		
Розробив		Таранюк К. Ю.			Сушарка киплячого шару КЦС-2000	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 1
Перевірив		Співак О. Ю.					
Рецензент		Попович М. М.				ТЕ-23мс	
Н. контр.		Боднар Л. А.					
Затверд.		Степанов Д.В.					

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				Документація		
А3			08–15.БКР.013.02.00.000 СК	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1	08–15.БКР.013.02.01.000	Рама підколосникова	1	
		2	08–15.БКР.013.02.02.000	Ворошилка	11	
		3	08–15.БКР.013.02.03.000	Живильник	1	
		4	08–15.БКР.013.02.04.000	Завантажувач	1	
		5	08–15.БКР.013.02.05.000	Футеровка	100	кг
		6	08–15.БКР.013.02.06.000	Колосникова система	11	
		7	08–15.БКР.013.02.07.000	Решітка набірна	1	
		8	08–15.БКР.013.02.08.000	Корпус	1	

Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	08–15.БКР.013.02.00.000		
Розробив		Таранюк К.Ю.			Топка на соломі	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 1
Перевірив		Співак О.Ю.					
Реценз.		Попович М.М.				ТЕ–23мс	
Н.контр.		Боднар Л.А.					
Затверд.		Степанов Д.В.					

Поз.	Найменування	Кіл	Примітка
1	Топка	1	не входить
2	Сушарка псевдозрідженого шару КЦС-2000	1	не входить
3	Збірка циклонів СЦН-40	1	
4	Заслінка дросельна SKG-A Dy670	1	
5	Заслінка дросельна SKG-A Dy540	1	
6	Газодувка ТВ-600-1,1	1	
7	Вставка гнучка прямокутна 670×450	1	
8	Відвід 90° 670×450×1 вентиляційний прямокутний	2	
9	Відвід 90° 450×670×1 вентиляційний прямокутний	3	
10	Повітропровід прямокутний 670×450×1,0 (Ду 540)	9,8	метри
11	Повітропровід прямокутний 670×670×1,0 (Ду 670)	7,83	метри

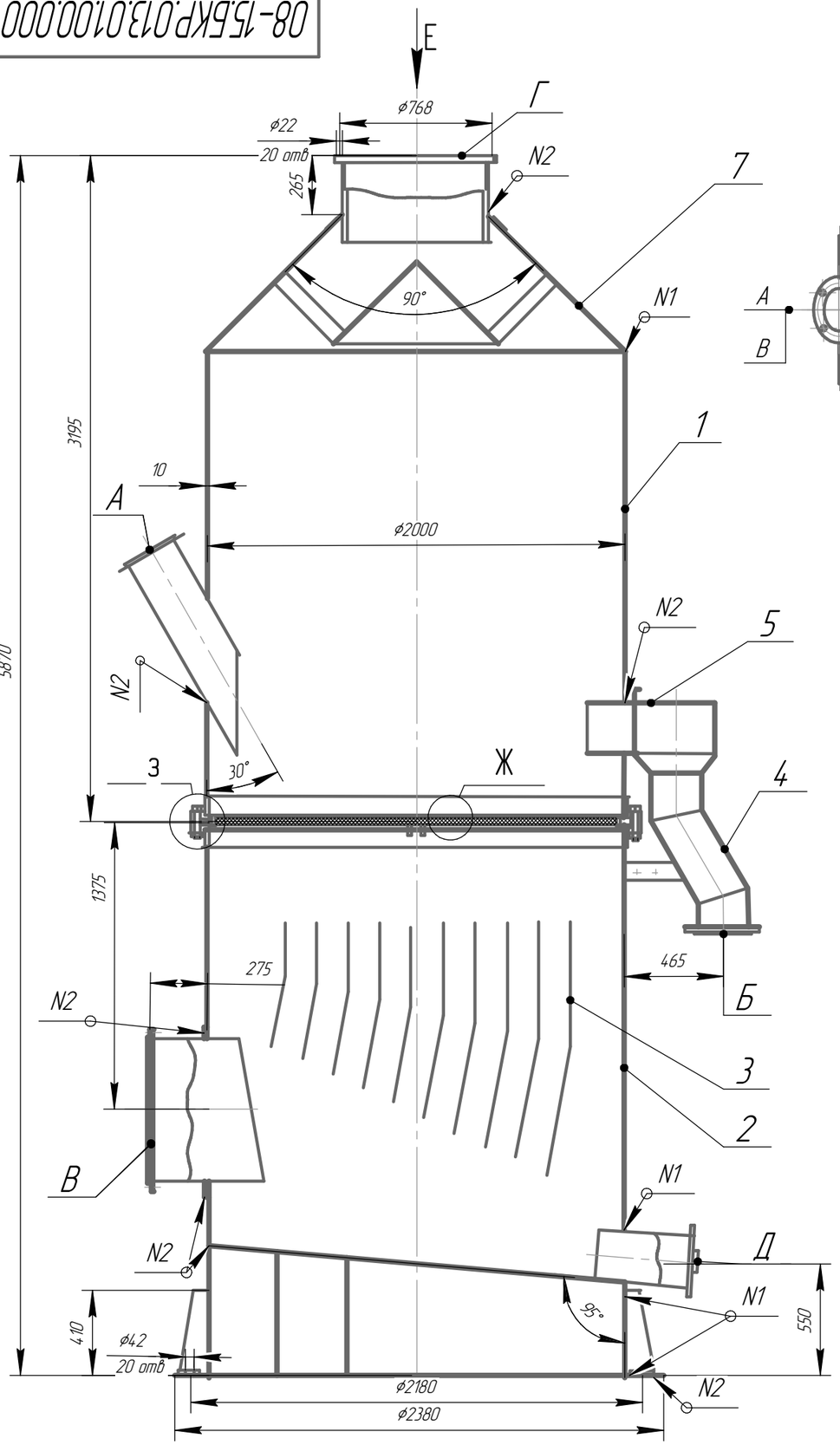
					08-15.БКР.013.03.00.000	
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата.		
Розробив		Таранюк К.Ю.			Схема монтажна аксонометрична	Літ. / Лист 1 / Листів 1
Перевірив		Співак О.Ю.				
Рецензент		Попович М.М.				
Н. Контр.		Боднар Л.А.				ТЕ-23мс
Затвердив		Степанов Д.В.				

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				Документація		
			08-15.БКР.013.04.00.000 СК	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
		1	08-15.БКР.013.04.01.000	Циліндрична частина корпуса	1	
		2	08-15.БКР.013.04.02.000	Конічна частина корпуса	1	
		3	08-15.БКР.013.04.03.000	Бункер	1	
		4	08-15.БКР.013.04.04.000	Вхідний патрубок	1	
		5	08-15.БКР.013.04.05.000	Вихлопна труба	1	
		6	08-15.БКР.013.04.06.000	Лапи	4	
				Деталі		
		7	08-15.БКР.013.04.00.007	Трубка охолодження	1	
		8	08-15.БКР.013.04.00.008	Фланець випускний	1	

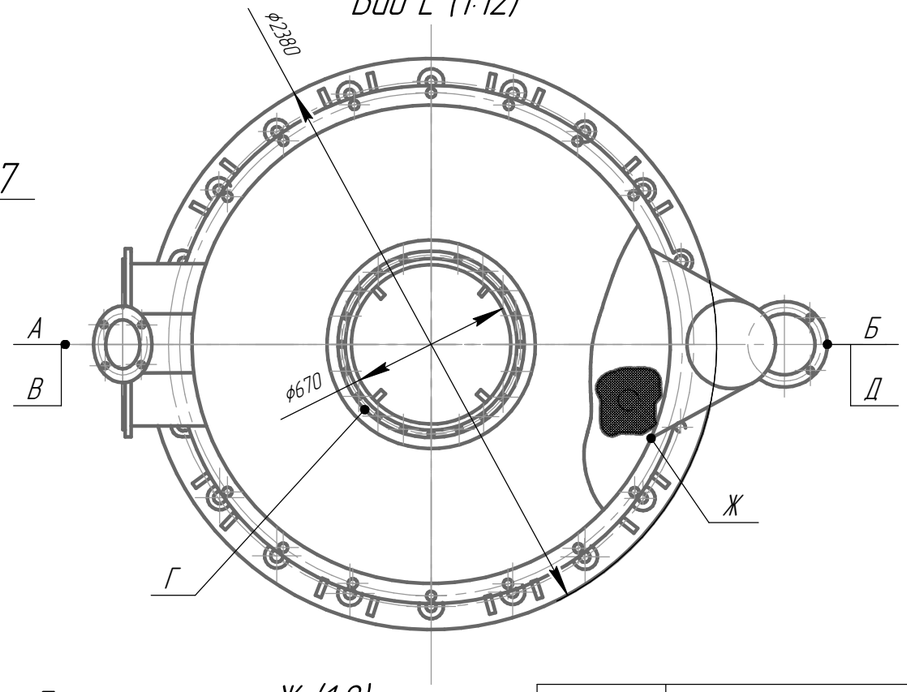
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	08-15.БКР.013.04.00.000		
Розробив		Таранюк К.Ю.			Циклон СЦН-40	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 1
Перевірив		Співак О.Ю.					
Реценз.		Попович М.М.				ТЕ-23мс	
Н. контр.		Боднар Л.А.					
Затверд.		Степанов Д.В.					

Поз.	Найменування	Кільк.	Примітка
1	Затвор	1	
2	Циклон правий	2	
3	Циклон лівий	2	
4	Лапа	1	
5	Кришка бункера	1	
6	Механізм відкривання бункера	1	
7	Збирач з боковим відводом	1	
8	Колектор	1	
9	Патрубок	1	
10	Рама монтажна	1	
11	Стрічка 3х20 Ст3кп ДСТУ ГОСТ 6009-74	1,2	кілограми

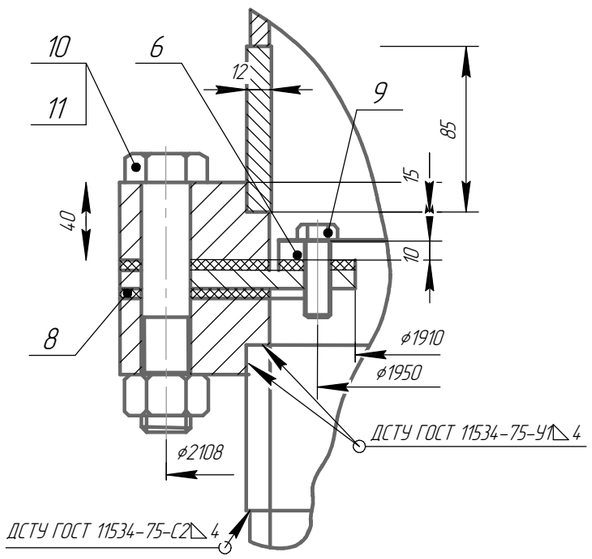
					08-15.БКР.013.05.00.000	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив		Таранюк К.Ю.			Монтаж збірки циклонів	Літ. / Аркуш 1 / Аркушів 1
Перевірив		Співак О.Ю.				
Рецензент		Попович М.М.				ТЕ-23мс
Н. контр.		Боднар Л.А.				
Затвердив		Степанов Д.В.				



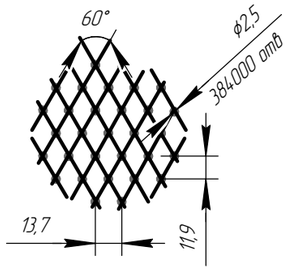
Вид Е (1:12)



З (1:8)



Ж (1:8)



Позначення	Назва	Кількість	Умовний прохід Dy, мм
А	Вхід вологого матеріалу	1	250
Б	Вихід висушеного матеріалу	1	250
В	Вхід гарячого теплоносія	1	690
Г	Вихід гарячого теплоносія	1	690
Д	Люк для очищення	1	250

Технічні вимоги

1. Прокладки виконати з пароніту ПОН 5 ДСТУ ГОСТ 481-80
2. Зварні з'єднання N1 – ДСТУ ГОСТ 11534-75-У1△4
   N2 – ДСТУ ГОСТ 11534-75-Т1△3
3. При виготовленні, випробуваннях і підготовці апарата дотримуватись вимог ДСТУ-Н Б А.3.1-32:2015 Настанова щодо монтажу та зварювання посудин, що працюють під тиском

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	08-15.БКР.013.01.00.000 СК		
Розроб.		Таранюк К.Ю.			Сушарка киплячого шару КЦС-2000 Складальне креслення	Літ.	Маса	Масштаб
Перев.		Співак О.Ю.						1:25
Т.контр.						Арк.	Аркушів 1	
Реценз.		Попович М.М.				ТЕ-23мс		
Н.контр.		Боднар Л.А.						
Затв.		Степанов Д.В.						

Копіював

Формат А3

Первинне застосування

Довідковий №

Підп. и дата

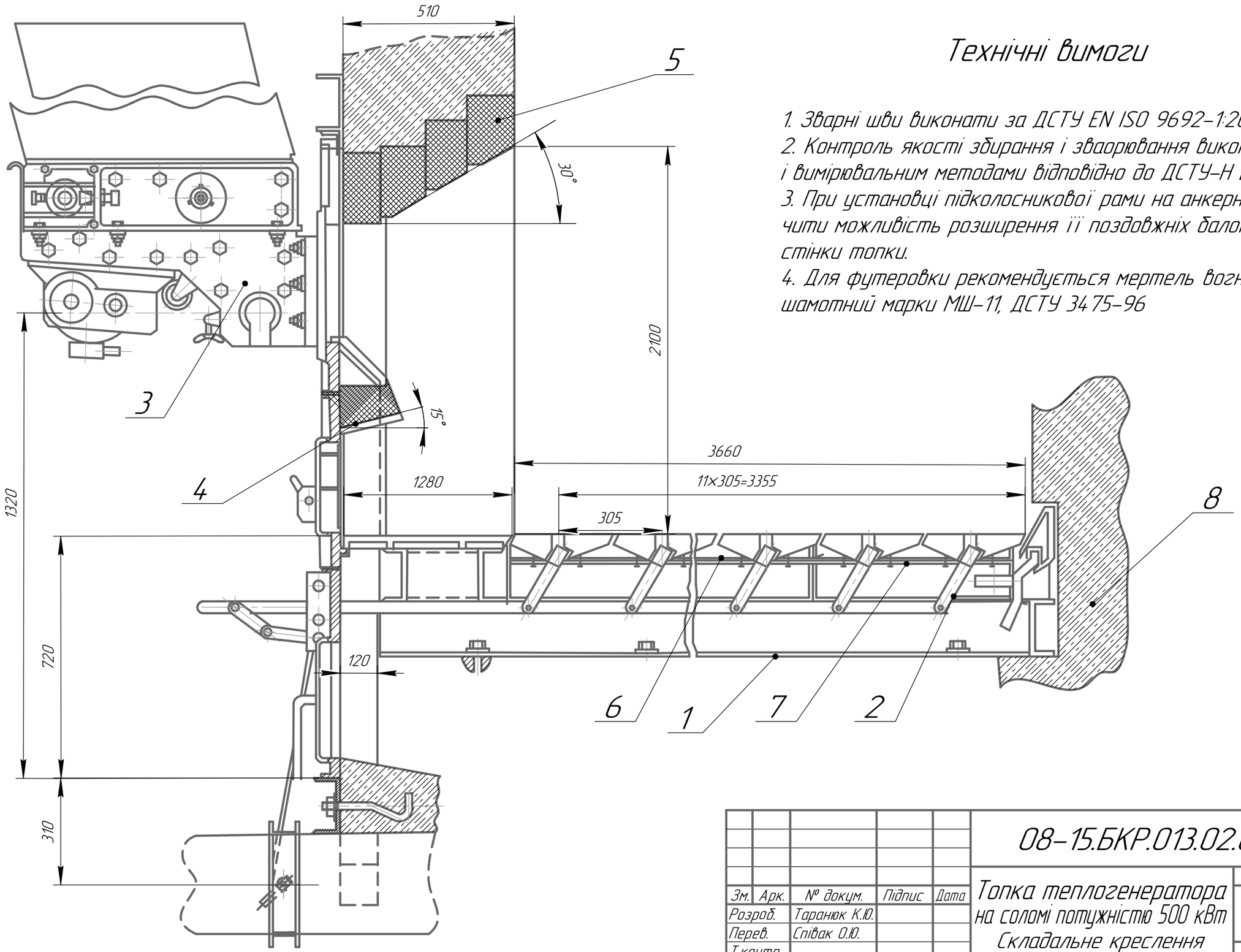
Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. и дата

Інв. № орд.

08-15.БКР.013.02.00.000 СК



Технічні вимоги

1. Зварні шви виконати за ДСТУ EN ISO 9692-1:2014.
2. Контроль якості збирання і зваорювання виконувати візуальним і вимірювальним методами відповідно до ДСТУ-Н Б А.3.1-11.
3. При установці підколосникової рами на анкерні болти забезпечити можливість розширення її поздовжніх балок до задньої стінки топки.
4. Для футеровки рекомендується мертель вогнестійкий шамотний марки МШ-11, ДСТУ 34.75-96

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Таранюк К.Ю.		
Перев.		Співак О.Ю.		
Т.контр.				
Реценз.		Попович М.М.		
Н.контр.		Боднар Л.А.		
Затв.		Степанов Д.В.		

08-15.БКР.013.02.00.000 СК

Топка теплогенератора на соломі потужністю 500 кВт
Складальне креслення

Літ.	Маса	Масштаб
		1:25
Арк.	Аркушів 1	

ТЕ-23мс

Копіював

Формат А3

Первинне застосування

Довідковий №

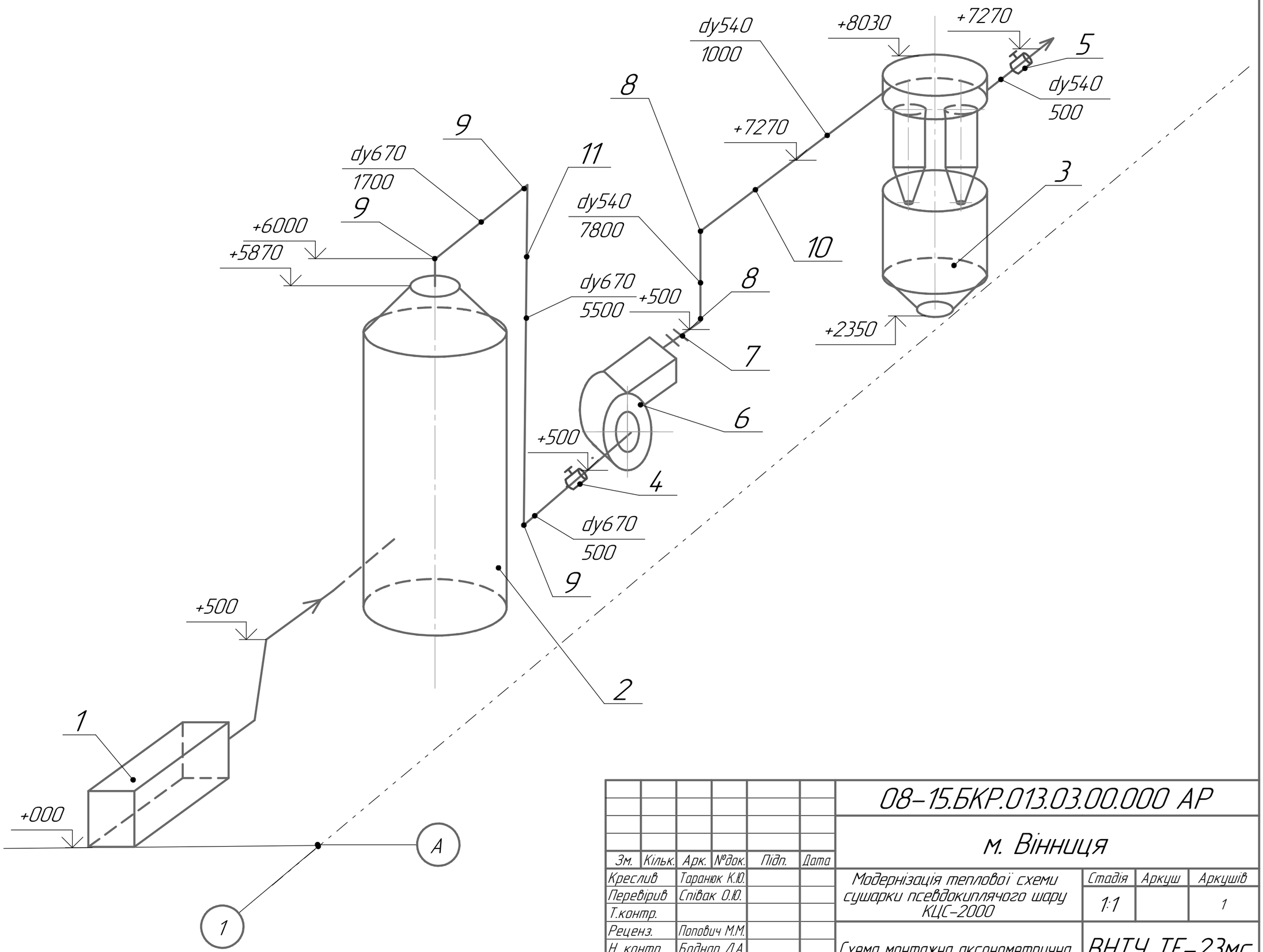
Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ор.

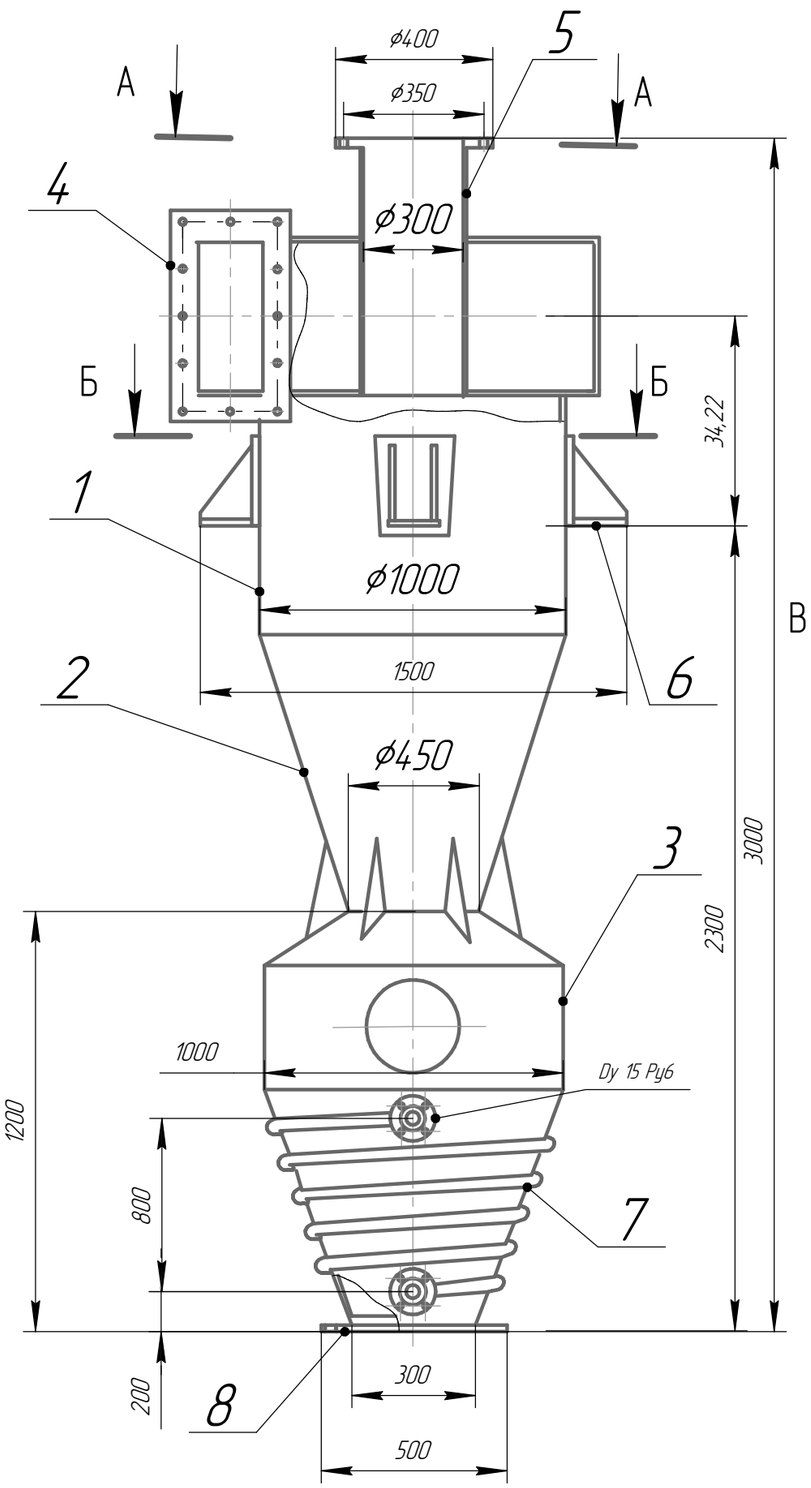


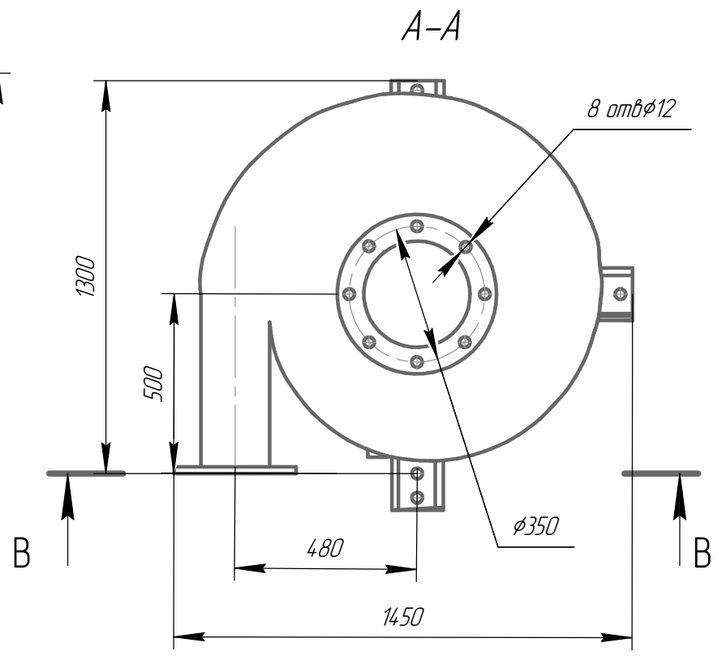
Погоджено:

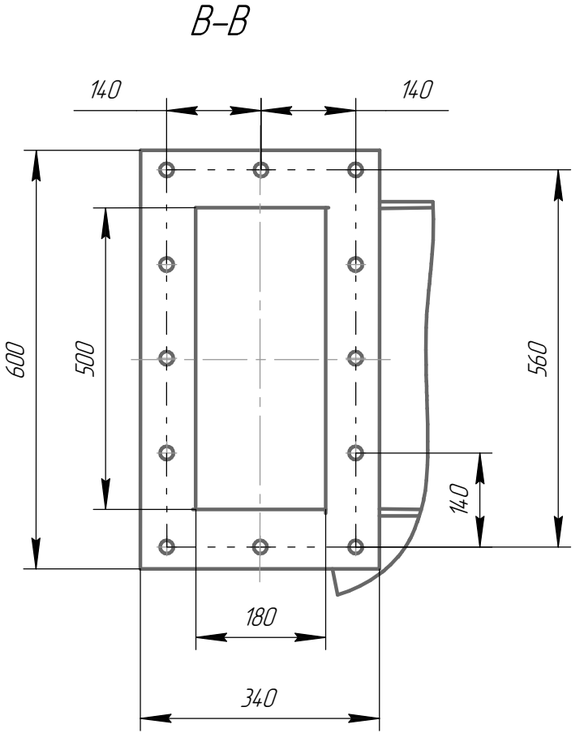
Інв. № ор. | Підп. і дата | Зам. інв. №

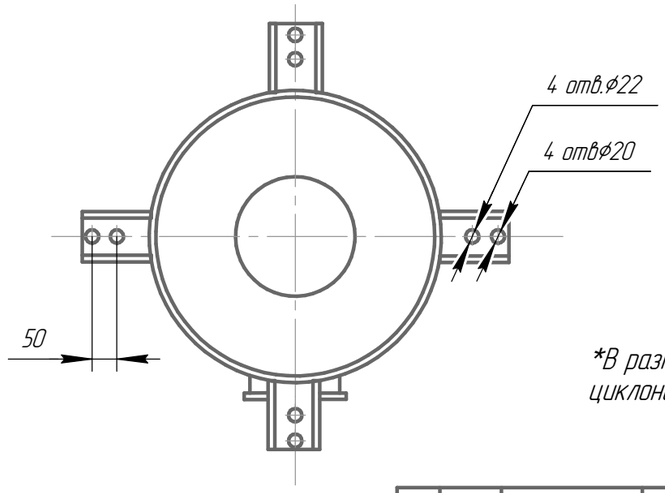
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	08–15.БКР.013.03.00.000 АР		
						м. Вінниця		
Креслив		Таранюк К.Ю.				Модернізація теплової схеми сушарки псевдокиплячого шару КЦС–2000	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Співак О.Ю.					1:1		1
Т.контр.									
Реценз.		Попович М.М.				Схема монтажна аксонометрична	ВНТУ ТЕ–23мс		
Н. контр.		Боднар Л.А.							
Затвердив		Степанов Д.В.							

08-15.БКР.013.03.00.000СК









Технічні характеристики

Пропускна здатність V = 3,6 м³/с;

Швидкість теплоносія w = 3,58 м/с;

Ступінь очищення 0,757

*В разі використання в якості елементів батарейного циклона з'єднання корпусів вести через лапи.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Таранюк К.Ю.		
Перев.		Співак О.Ю.		
Т.контр.				
Реценз.		Попович М.М.		
Н.контр.		Боднар Л.А.		
Затв.		Степанов Д.В.		

08-15.БКР.013.04.00.000СК

Циклон СЦН-40

Складальне креслення

Літ.	Маса	Масштаб
		1:25
Арк.	Аркушів 1	

ТЕ-23мс

Копіював

Формат А3

Первинне застосування

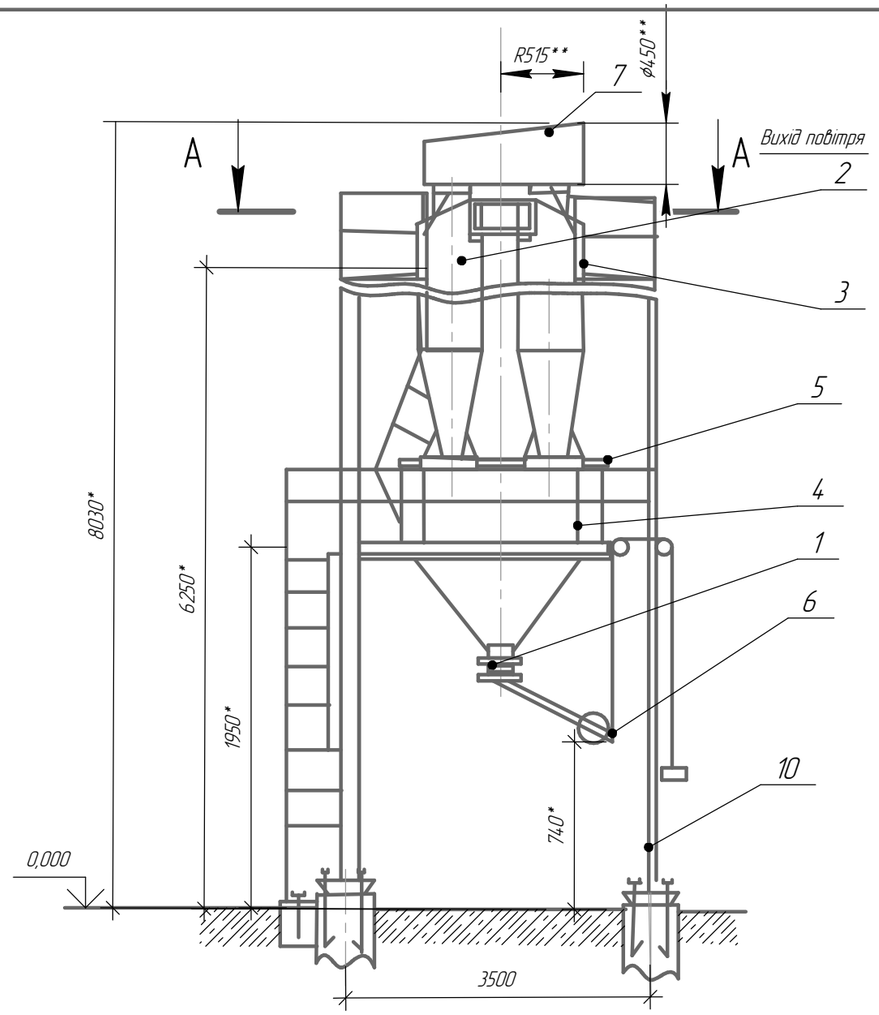
Довідковий №

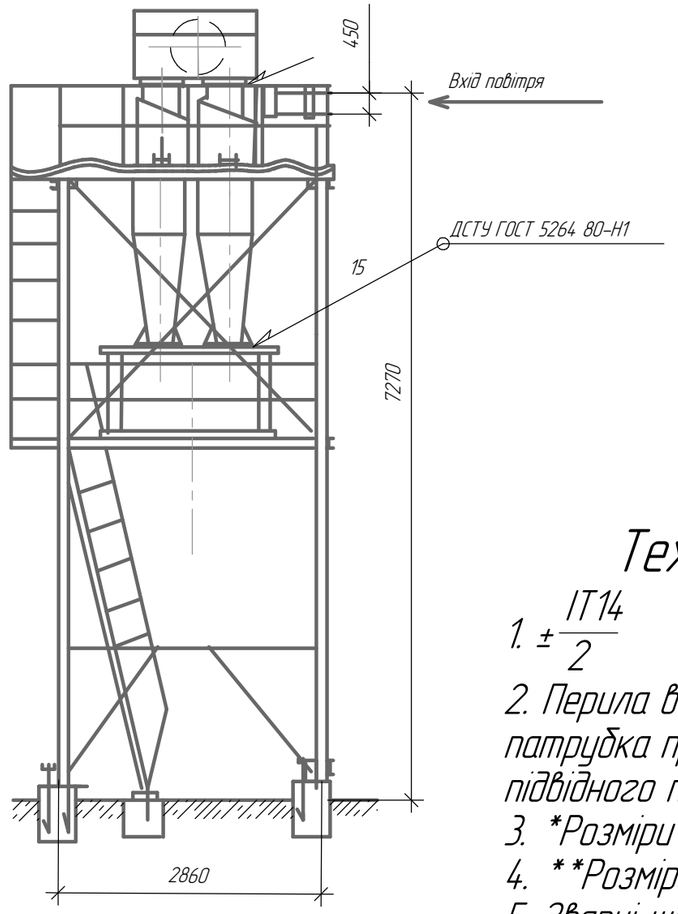
Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ор.



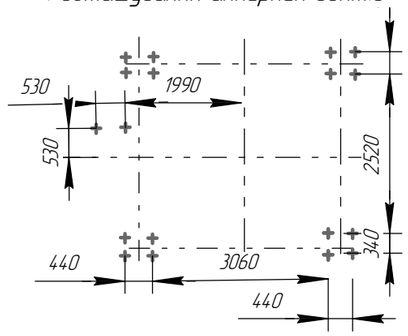


М 1:75

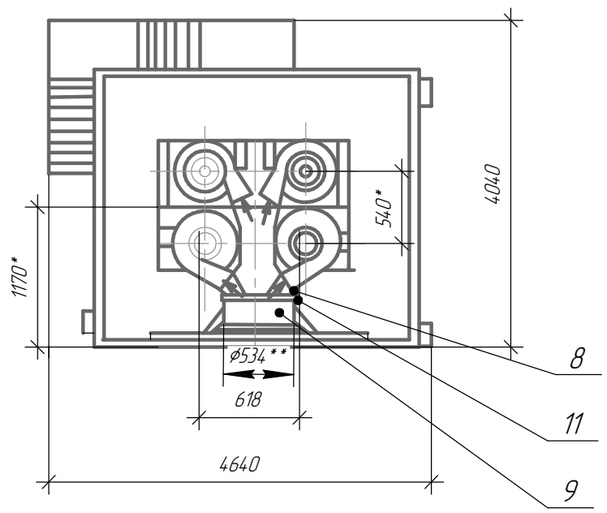
Технічні вимоги

1. $\pm\frac{IT14}{2}$
2. Перила верхньої площадки з боку патрубка приварити після монтажу підвідного повітропровода.
3. *Розміри для довідок.
4. **Розміри дані за внутрішнім перерізом
5. Зварні шви, не вказані на кресленні виконати за ДСТУ ГОСТ 11534-75-У1 ◺ 4
6. Фарбування випускних отворів циклонів і бункера не дозволяється

Розташування анкерних болтів



А-А



Погоджено:

Інв. № од. | Підп. і дата | Зам. інв. №

Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підп.	Дата	08-15.БКР.013.05.00.000 АР		
						м. Вінниця		
Розробив		Таранюк К.Ю.				Модернізація теплової схеми сушарки псевдокиплячого шару КЦС-2000	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Співак О.Ю.					1:1		1
Н. Контр						Монтаж збірки циклонів	ТЕ-23мс	
Т. Контр.		Попович М.М.						
Рецензент		Боднар Л.А.						
Затвердив		Степанов Д.В.						

Додаток Г
(довідниковий)
Процес в h-d діаграмі

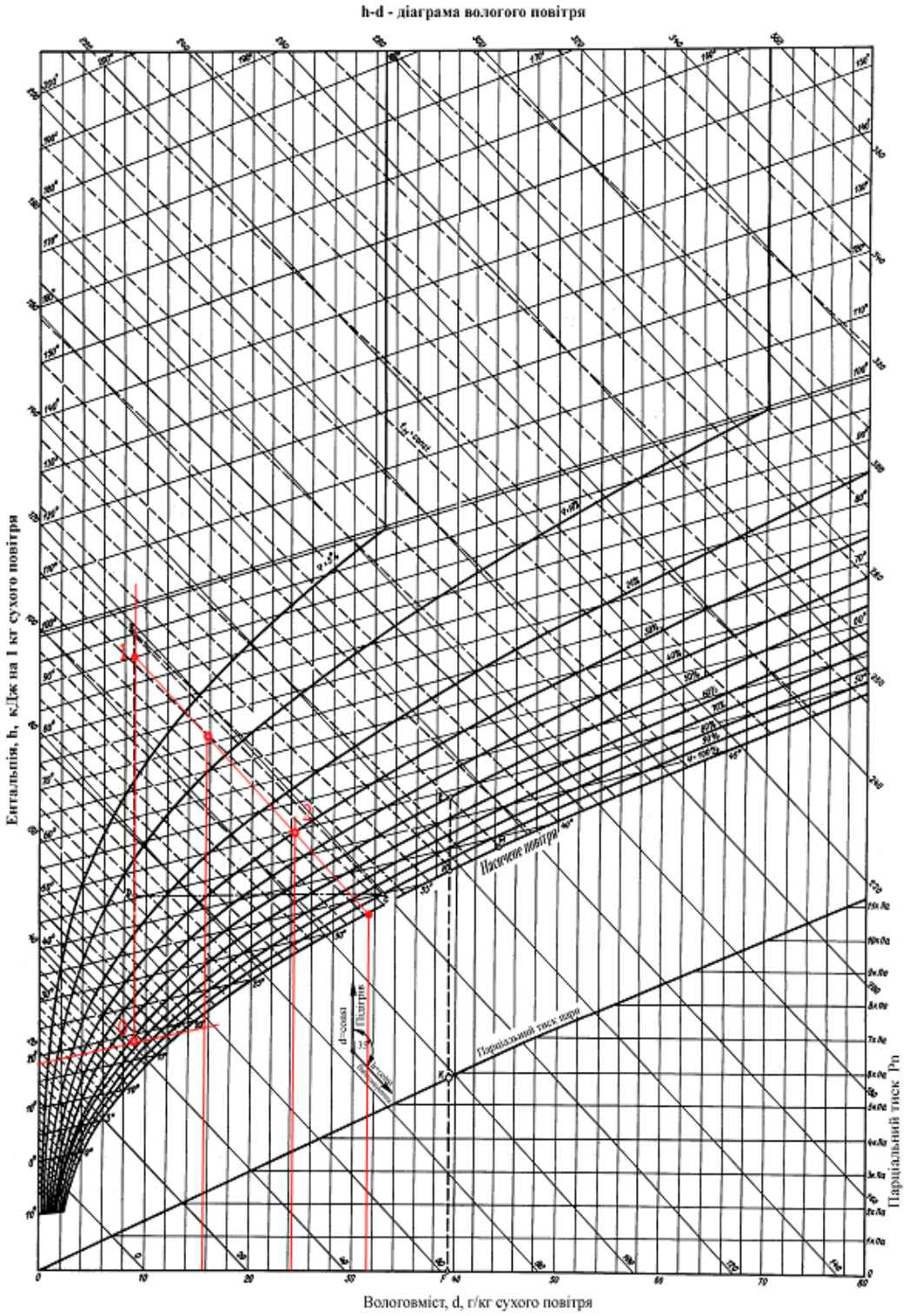


Рисунок Г.1 – Процес в h-d діаграмі

Додаток Д
(довідниковий)

Лістинг програми для розрахунку варіантів альтернативного палива

ORIGIN := 1

Характеристики палив

Солома - 1
Відходи деревини - 2
Кам'яне вугілля - 3
Енергетична верба - 4
Природний газ - 5

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 1890 & 14.6 \\ 2 & 4450 & 10.5 \\ 3 & 12500 & 25 \\ 4 & 4700 & 12 \\ 5 & 21000 & 33.5 \end{pmatrix}$$

A2 - вартість палива, грн/тонна
A3 - теплотворна здатність палива, МДж/кг

Потужність топки, кВт $Q := 550$

Кількість палива для роботи

$$M := \frac{Q \cdot 1000}{A^{\langle 3 \rangle} \cdot 10^6} \cdot 3600 \qquad M = \begin{pmatrix} 135.616 \\ 188.571 \\ 79.2 \\ 165 \\ 59.104 \end{pmatrix}$$

Вартість палива

$$E := \frac{\overrightarrow{\left(M \cdot A^{\langle 2 \rangle}\right)}}{1000} \qquad E = \begin{pmatrix} 256 \\ 839 \\ 990 \\ 776 \\ 1241 \end{pmatrix}$$

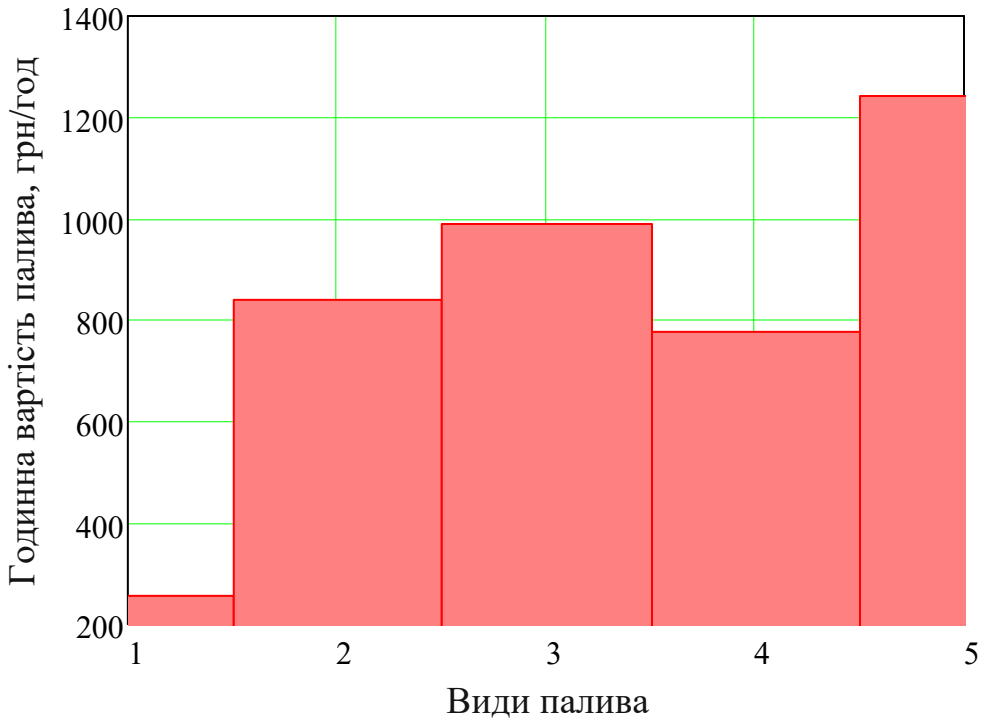


Рисунок Д.1 - Годинна вартість різних видів палива для роботи сушарки КЦС-2000

Додаток Е

(довідниковий)

Тепловий баланс топки

Таблиця Е.1 – Тепловий баланс і витрата палива

Величина			Розмірність	Розрахунок
Найменування	Позначення	Розрахункова формула або спосіб визначення		
1	2	3	4	5
Наявна теплота палива	$Q_н$	$Q_н^P$	кДж/кг	13500
Втрати теплоти від хімічної неповноти згорання	q_3	Характеристики шарових механізованих топок	%	0,5
Втрати теплоти від механічної неповноти згорання	q_4	Те ж	%	4
Температура відхідних газів	$t_г$	Приймаємо	°С	200
Ентальпія відхідних газів	$I_г$	Із таблиці 4.2	кДж/кг	2074,3
Температура холодного повітря	$t_{хп}$	Приймаємо	°С	20
Ентальпія повітря в котельній	$I_{хп}^0$	$V^0 \cdot (c\vartheta)_{хп}$	кДж/кг	$4{,}323 \cdot 26 =$ $=112{,}404$
Втрати теплоти з відхідними газами	q_2	$\left(I_г - \alpha'' \cdot I_{хп}^0\right) \cdot \cdot \left(100 - q_4\right)/Q_н$	%	$(2074{,}3 - 1{,}5\times$ $\times 112{,}404)\times$ $\times\ (100 -$ $-4)/13500=$ $=13{,}552$
Втрати теплоти через корпус установки	q_5	Характеристики корпусу установки	%	1,3
Частка виносу золи	$a_{вин}$	Згідно із завданням	–	0,95
Питома ентальпія золи	$(c\vartheta)_{зл}$	Питомі ентальпії золи	кДж/кг	169
Робоча зольність палива	A^P	Згідно із завданням	%	5
Втрати теплоти зі шлаком	q_6	$\left((1 - a_{вин})(c\vartheta)_{зл} \cdot \cdot A^P\right)/Q_н$	%	$\left((1 - 0{,}95)\cdot 169 \cdot \cdot 5\right)/13500=$ $=0{,}00313$
Сума теплових втрат	$\sum q$	$q_2 + q_3 + q_4 +$ $+ q_5 + q_6$	%	$13{,}552 + 0{,}5 +$ $+4 + 1{,}3 +$ $+0{,}00313 =$ $= 19{,}355$

Продовження таблиці Е.1

1	2	3	4	5
ККД теплогенератора	η	$100 - \sum q$	%	$100 - $ $-19{,}355 =$ $= 80{,}645$
Коефіцієнт збереження теплоти	φ	$1 - (q_5/(\eta + q_5))$	–	$1 - (1{,}3/$ $/(80{,}645 +$ $+1{,}3)) = 0{,}984$
Густина повітря	$\rho_{пов}$	Із таблиць	кг/м^3	1,119
Масова витрата повітря	$G_{пов}$	$V_{пов} \cdot \rho_{пов}$	кг/с	$6{,}67 \cdot 1{,}119 =$ $= 7{,}464$
Повна витрата палива	B	$Q/Q_н$	кг/с	$500/13500 =$ $= 0{,}037$
Розрахункова витрата палива	$B_Р$	$B \cdot (100 - q_4)/100$	кг/с	$0{,}037 \cdot (100 - 4)/$ $/100 = 0{,}0355$