

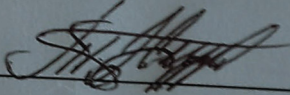
Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

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

Пояснювальна записка
до бакалаврської дипломної роботи на тему:


**«МОДЕРНІЗАЦІЯ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ
СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ А1ОР2Ч»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-21мс
спеціальності 144 – теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)


_____ Ткач Н.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ
_____ Співак О. Ю.
(прізвище та ініціали)
« 12 » _____ 06 _____ 2023 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМГА
_____ Попович М.М.
(прізвище та ініціали)
« 12 » _____ 06 _____ 2023 р.


Допущено до захисту
Зав. кафедри ТЕ
_____ К.т.н., доц. Степанов Д.В.
« 12 » _____ 06 _____ 2023 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ

Степанов Д.В.

21 березня 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ткачу Назарію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація розпилювальної сушильної установки
А1ОР2Ч»

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 2023 р. № 67

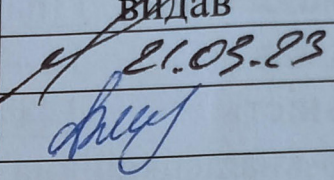
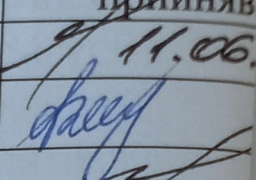
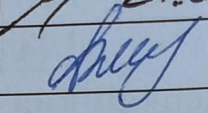
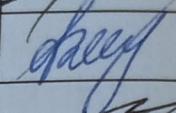
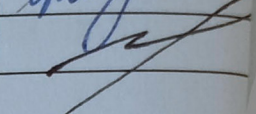
2. Термін подання студентом роботи 10.06.2023

3. Вхідні дані до роботи: кількість випаруваної вологи $W = 3000$ кг/год;
температура теплоносія на вході в калорифер $t_1 = 18^\circ\text{C}$; на вході в сушильний
бункер $t_2 = 175^\circ\text{C}$; вологість сировини початкова 51%; кінцева 4%

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: дослідження літератур-
них джерел та патентний пошук; багатоваріантний аналіз; тепловий розра-
хунок сушарки А1ОР2Ч; розрахунки обладнання для модернізації; математи-
чна модель і числовий експеримент; охорона праці; висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових кре-
слень): сушарка розпилювальна А1ОР2Ч; схема теплова функціональна; су-
шильна башта; теплообмінник спіральний; план сушильного комплексу; схема
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.	 21.03.23	 11.06.
Охорона праці	к.т.н., доц. Віштак І.В.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Співак О.Ю.		

7. Дата видачі завдання 21.03.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання	
		початок	закінчення
1.	Аналіз літературних та патентних джерел	15.03.2023	22.03.2023
2.	Багатоваріантний аналіз	23.03.2023	01.04.2023
3.	Розрахунок розпилювальної сушарки А1ОР2Ч	02.04.2023	16.04.2023
4.	Розрахунки обладнання для модернізації	17.04.2023	25.05.2023
	Розрахунки спірального теплообмінника	17.04.2023	30.04.2023
	Розрахунок і вибір очисного пристрою	01.05.2023	12.05.2023
	Розробка технології монтажу ТА для рекуперації теплоти топкових газів	13.05.2023	16.05.2023
5.	Розробка математичної моделі сушарки та числовий експеримент	17.05.2023	26.05.2023
6.	Охорона праці	27.05.2023	01.06.2023
7.	Оформлення висновків по роботі	02.06.2023	04.06.2023
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу.	02.06.2023	04.06.2023
9.	Перевірка на антиплагіат	05.05.2023	06.06.2023
10.	Нормоконтроль	07.06.2023	08.06.2023
11.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	08.06.2023	11.06.2023
12.	Захист БДР ЕК	15.06.2023	15.06.2023

Студент

Керівник роботи

(підпис)

Ткач Н.О.
(прізвище та ініціала)

Співак О.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33.221

Ткач Н.О. Модернізація розпилювальної сушильної установки А1ОР2Ч. Бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма - Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2023. 73 с.

Бібліогр.: 42 назв; рис.: 5; табл. 16.

У бакалаврській дипломній роботі здійснена модернізація розпилювальної сушильної установки А1ОР2Ч для сушіння молочних продуктів, виробництва Калинівського машинобудівного заводу. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення екологічної чистоти висушеної харчової продукції і здешевлення її собівартості.

Здійснено багатоваріантний аналіз модернізації, для розрахунку варіантів складена оригінальна програма в пакеті Mathcad.

Розрахована розпилювальна сушарка А1ОР2Ч, виконано розрахунок та підбір обладнання для її модернізації, такого як спіральний газоповітряний теплообмінник, розраховано і підбрано циклон для очищення відпрацьованого теплоносія від пилової фази, Розроблено також технологію монтажу спірального теплообмінника та супутного обладнання: циклона і нагнітальних вентиляторів.

Розроблено математичну модель роботи спірального газоповітряного теплообмінника для дослідження режимів його роботи. Модель реалізовано у вигляді програми в пакеті Mathcad. Проведений числовий експеримент дозволив виявити закономірності роботи газоповітряного теплообмінника та оптимізувати його габаритні характеристики для роботи із сушаркою А1ОР2Ч.

Графічна частина складається з 6 креслень і 2 плакатів із результатами математичного моделювання.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як аналіз умов праці, розроблена карта умов праці; технічні рішення з безпечної організації робочих місць; гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця; розроблені рекомендації щодо покращення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: сушіння, розпилювальна сушарка, альтернативні види палива, сушильний процес, сушіння молока.

ABSTRACT

Tkach N.O. Modernization of the spray drying unit A1OR2Ch. Bachelor's thesis on specialty 144 - Heat and power engineering, educational program - Heat and power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 73 p.

Bibliography: 42 titles; Fig.: 5; table 16.

In the bachelor's thesis, the modernization of the A1OR2Ch spray drying plant for drying dairy products, manufactured by the Kalynivka Machine-Building Plant, was carried out. The proposed solutions are aimed at increasing the ecological purity of dried food products and reducing their cost price.

A multivariate analysis of modernization was carried out, an original program in the Mathcad package was compiled to calculate the variants.

The A1OR2Ch spray dryer was calculated, the equipment for its modernization was calculated and selected, such as a spiral gas-air heat exchanger, a cyclone was calculated and selected for cleaning the spent coolant from the dust phase, the technology for installing the spiral heat exchanger and related equipment was also developed: cyclone and injection valves-torius

A mathematical model of the operation of a spiral gas-air heat exchanger has been developed to study the modes of its operation. The model is implemented as a program in the Mathcad package. The conducted numerical experiment made it possible to reveal the regularities of the gas-air heat exchanger and optimize its overall characteristics for work with the A1OR2Ch dryer.

The graphic part consists of 6 drawings and 2 posters with the results of mathematical modeling.

In the section on labor protection, such issues as the analysis of working conditions, a map of working conditions were developed; technical solutions for the safe organization of workplaces; hygienic assessment of working conditions, assessment of the technical and organizational level, certification of the workplace; recommendations for improving working conditions were developed, and fire safety regulations were considered.

Key words: drying, spray dryer, alternative fuels, drying process, milk drying.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК ...	9
1.1 Основи сушіння розпилюванням	9
1.2 Опис об'єкта	12
1.3 Багатоваріантний аналіз	14
2 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СУШАРКИ А1ОР2Ч.....	18
2.1 Формування даних для розрахунку.....	18
2.2 Процес в теоретичній сушарці.....	18
2.3 Розрахунок дійсної сушарки.....	21
3 РОЗРАХУНКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	29
3.1 Розрахунок очисного пристрою (циклона)	29
3.2 Вибір нагнітальної машини	32
3.3 Розрахунок спірального теплообмінника	33
3.4 Монтаж спірального теплообмінника, циклона та вентиляторів	47
4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СУШАРКИ	53
4.1 Короткий опис математичної моделі	53
4.2 Розрахунок параметрів сировини і теплоносія	53
4.3 Результати числового експерименту і їх обговорення.....	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
5.1 Аналіз умов праці.....	61
5.2 Технічні рішення з безпечного проведення досліджень	61
5.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	64
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	70
ДОДАТКИ.....	74
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	75
Додаток Б (обов'язковий) ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	76
Додаток В (обов'язковий) ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	79
Додаток Г (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	94
Додаток Д (довідниковий) Математична модель роботи сушарки А1ОР2Ч..	97

ВСТУП

Розпилювальним сушінням вважають перетворення рідкої сировини в суху за допомогою методів розпилення сировини в гарячому сушильному агенті. Цей технологічний процес є одноступеневим і безперервним. Сировина може бути пастою, суспензією або розчином. Висушений готовий продукт складається з окремих агломератів (частинок) різної форми, яка залежить від хімічних і фізичних властивостей сировини, робочих умов і конструкції сушарки. За останні 30-40 років розпилювальне сушіння інтенсивно розвивалося і досліджувалося, і сучасне обладнання дозволяє отримати готовий продукт, який би мав задані замовником властивості [1].

Розпилювальне сушіння в молочній промисловості почало застосовуватися з 1800 року, але в промислових масштабах воно використовується для сушіння молока десь не раніше 1850 року. Такий процес сушіння вимагав додавання або цукру, або сірчаної кислоти, або луку, тому готовий продукт чистим вважати було не можна [1].

У наш час розпилювальні сушарки застосовуються у всіх галузях переробки молока, таких як:

- сушіння молока;
- сушіння сироватки;
- сушіння знежиреного молока;
- сушіння пахти;
- сушіння заміниці цільного молока.

Але не всі сушильні установки є сучасними розробками високого рівня. Хоча сучасні розпилювальні установки можуть експлуатуватися в неперервному режимі, і забезпечити максимально високу ефективність і безпеку, але, все одно постійна автоматизація обладнання і раціоналізація техпроцесів на молокозаводах ставить перед інженерами завдання як розробку нових технологічних процесів, так і вдосконалення старих.

Метою модернізації розпилювальної сушарки, є збільшення її продуктивності і зниження часу сушіння.

Результатом модернізації розпилювальної сушарки, має бути більша продуктивність, ніж має аналог, за незмінної величини енергозатрат, а вартість готового продукту зменшиться, за рахунок зменшення часу сушіння.

Внаслідок досить тривалої енергетичної кризи в Україні підвищення

енергоефективності промислового обладнання і заходи з енергозбереження є **актуальними**.

Метою бакалаврської дипломної роботи є модернізація розпилювальної сушарки А1ОР2Ч для сушіння молокопродуктів для підвищення її енергоефективності і збереження якості готового продукту.

Завдання роботи:

- необхідно виконати аналіз варіантів модернізації;
- розрахувати існуючу теплову схему сушарки і визначити теплофізичні параметри теплоносія, який планується використати для сушіння;
- вибрати шляхи для можливої модернізації та розрахувати модернізовану схему;
- здійснити підбір та розрахунки додаткового обладнання, яке є необхідним для роботи модернізованої сушарки;
- забезпечити охорону праці.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

1.1 Основи сушіння розпилюванням

Розпилювальне сушіння застосовується, в основному, якщо є необхідність випарувати розчинник і отримати з висушувного матеріалу гранульований чи порошкоподібний сухий продукт [2].

Економічна доцільність розпилювального сушіння є особливо очевидною за необхідності сушіння матеріалів, близьких до стану насичення (наприклад, після випарювання), а також при організації в камері сушарки комбінованого процесу гігротермічної обробки. Матеріал, який потрібно висушити спеціальними пристроями диспергується (розпилюється) в сушильній камері через яку протікає тепло і вологоносій у газоподібному стані (нагріте повітря, гази продуктів горіння палива, перегріта пара тощо). Внаслідок того, що дисперговані частинки мають розвинену поверхню тепломасообмін з сушильним агентом відбувається досить інтенсивна, внаслідок чого розпилені частинки швидко віддають вологу. Сухий продукт падає на дно сушильної камери, як правило у вигляді порошку, а з дна безперервно видаляється. Та частина сухого продукту яка не випала, виділяється з відпрацьованого газу або повітря в пилеочисниках (матерчатих фільтрах, циклонах, скруберах тощо).

Висушені частинки в більшості випадків мають різноманітну форму і можуть бути суцільними (монолітними), порожнистими або мати губчасту структуру в залежності від молекулярної структури розчину, що висушується, і режиму сушіння.

Існують і інші способи сушіння розпиленням: сушіння у вакуум-розпилювальних сушарках або так зване «холодне сушіння розпилюванням».

Спосіб холодного сушіння розпиленням застосовується для матеріалів, які в нагрітому стані є рідиною, а при нормальних температурах є твердими тілами. Такі матеріали розпорошуються в нагрітому стані в потоці холодного повітря. Випарювання відбувається за рахунок тепла, акумульованого самим матеріалом.

Очевидними перевагами має також спосіб сушіння перегрітих перед розпиленням розчинів. При його використанні покращується процес розпилення, зменшуються розміри апаратури та питомі енерговитрати, у ряді випадків покращуються технологічні показники сухого продукту. У спеціальних випадках при сушінні термолабільних дорогих розчинів доцільно застосування ультразвукових розпилювачів і генераторів для «озвучування» об'єму камер сушарок. Розпиленням можна висушувати будь-які продукти, які можуть бути подані до розпилюючого апарату насосом або під тиском [5].

Спосіб сушіння розпиленням має такі переваги у порівнянні з іншими відомими методами сушіння:

- розпилювальне сушіння протікає досить швидко (приблизно 15-30 сек), а часточки в зоні підвищених температур на поверхні мають вологу, тому температура часточок близька до температури адіабатного випаровування. Внаслідок практично миттєвого сушіння і при невисокій температурі розпиленого матеріалу сам висушений продукт виходить високої якості; не відбувається втрат вітамінів, окислення, денатурації білків тощо. Метод розпилювання часто застосовується для сушіння продуктів харчових виробництв, барвників і органічних солей, фармацевтичних та біологічних препаратів та інших термолабільних матеріалів. Готовий продукт, який висушений у розпилювальних сушарках в інертному газі (азот, вуглекислий газ), чи навіть і у нагрітому повітрі за якістю можна порівняти тільки з продуктом сублімаційного сушіння;

- при такому сушінні легко регулювати чи навіть змінювати у потрібному напрямку показники якості готового продукту в залежності від умов сушіння. Можна і регулювати, і змінювати в певних межах, наприклад, об'ємну масу сухого порошку, кінцеву вологість, температуру чи величину частинок;

- в результаті розпилювального сушіння готовий продукт має підвищену розчинність і не вимагає подальшого подрібнення;

- при застосуванні розпилювального сушіння часто можна значно скоротити і повністю механізувати технологічний цикл процесу сухого продукту. Часто при цьому можуть бути виключені такі процеси як центрифугування, фільтрація, чи

розмелювання;

– у розпилювальних сушарках можна досягти високої продуктивності, при цьому не потрібно великої кількості обслуговуючого персоналу;

– розпилений висушуваний матеріал в сушильній камері не стикається з поверхнями стін сушарки до тих пір, поки він повністю не висохне. Це значно спрощує вирішення проблеми окислення, корозії та спрощує вибір матеріалу для сушильної камери. При різних інших способів сушіння вологий продукт, який сушиться, стикається з металевими поверхнями і їх необхідно виготовляти з корозійностійких матеріалів;

– при сушінні розпилюванням можна здійснити проводити процес в широких температурних межах (від 60 до 1200 °C);

– в розпилювальних сушарках можна сушити липкі аморфні продукти, які необхідно отримати у дрібному стані. Подрібнення липких продуктів, наприклад, за допомогою розмелювання здійснити неможливо. У камері одночасно знаходиться невелика кількість сировини, тому нема чого боятися за псування великої його кількості у випадку непередбаченої зупинки сушарки;

– коли сушать розпиленням, то легко отримати висушений продукт, який складається з ряду різних сухих компонентів в певних співвідношеннях, простим додаванням необхідної кількості необхідних матеріалів до процесу сушіння в основний матеріал або під час сушіння одночасним розпиленням цих матеріалів.

– винесення пилу висушеного готового продукту в приміщення цеху не відбувається, а це особливо важливо якщо сушать шкідливі для людського організму матеріали.

Разом з тим, метод розпилювального сушіння має такі недоліки:

– великі габарити сушильної установки, навіть при сушінні з порівняно невеликою початковою температурою повітря близько 100-150 °C;

– складне та дороге обладнання для виділення висушеного продукту з відпрацьованого теплоносія та й для самого розпилення;

– підвищена витрата електроенергії, обумовлена витратами на розпилення і збільшеною витратою теплоносія, внаслідок того, що теплоносій слабо насичується

вологою за невисоких початкових температур сушіння;

– об'ємні маси висушеного продукту невеликі, через це для отримання необхідної щільності часто доводиться застосовувати брикетування порошку.

Питома витрата теплоти, віднесена до 1 кг випарованої вологи, в розпилювальних сушарках становить залежно від режиму сушіння 4000-6500 кДж/кг.

Техніко-економічні показники методу сушіння розпилюванням можна значно покращити, інтенсифікувавши процес випаровування в розпилювальних сушарках. Відомо що при сушінні високодиспергованих матеріалів можна значно інтенсифікувати процес, внаслідок чого скорочуються габарити установки та витрати електроенергії та теплоти.

1.2 Опис об'єкта

Сушарка А1ОР2Ч застосовується:

– у харчовій промисловості: для отримання сухого молока, альбуміну, протеїнових сумішей, сухих рослинних білків, розчинної кави, чаю, цукру та цукрозамінників, рослинних екстрактів, сухих дріжджів, крохмалів та їх похідних, приправ, овочевих та курячих порошків, кормів для тварин тощо;

– у хімічній та фармацевтичній галузях: для отримання ароматизаторів, барвників, побутової хімії, пластику, смол, поліетилену, добрив, антибіотиків та різних фармацевтичних порошків.

Схема сушильного комплексу А1ОР2Ч показана на Рис.1.1.

Установка має камеру циліндроконічної форми. Розпорошені в камеру форсунової сушарки емульсії, суспензії або пастоподібні матеріали контактують з гарячим сушильним агентом (повітрям або топковими газами), внаслідок чого зневоднюються.

Такий метод найбільш ефективний для отримання сипучого дрібнодисперсного порошку або гранул. Також за допомогою такої сушарки можна відновити продукт, що злежався, перетворивши його на якісний порошок.

Повітря проходить фільтрацію та нагрівання, потім надходить у пристрій

подачі, розташований у верхній частині апарату, звідти подається в камеру, формуючи в ній обертовий повітряний потік.

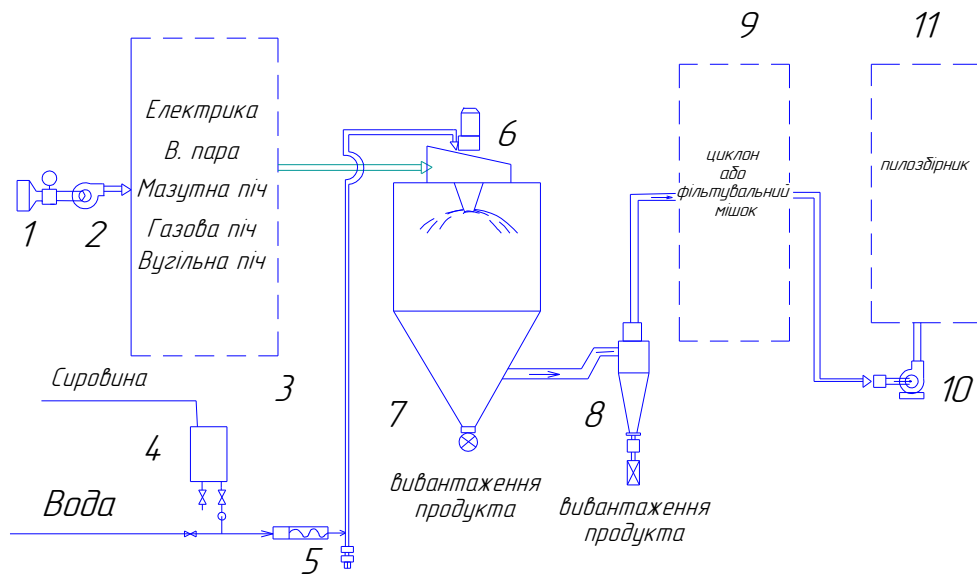


Рисунок 1.1 – Схема сушильного комплексу на базі сушарки А1ОР2Ч

1. Фільтр; 2. Вентилятор; 3. Підігрівач; 4. Ємність із сировиною (чи штуцер підведення сировини); 5. Нагнітальний насос; 6. Розпилювач; 7. Сушильна камера; 8. 1-й контур уловлювання пилу; 9. 2-й контур уловлювання пилу; 10. Вентилятор; 11. 3-й вологий контур уловлювання пилу.

Одночасно з подачею повітря відбувається розсіювання суспензії у сушильній камері. Сировина надходить у камеру за допомогою механічних форсунок, в які продукт підводиться під сильним тиском, або за допомогою відцентрових дисків та пневматичних форсунок, в яких розпорошення здійснюється за рахунок струменя повітря (у професійному середовищі їх часто називають атомайзером). При взаємодії з повітрям з дрібнодисперсних частинок розчину випаровується волога, і вони перетворюються на порошок. Так як речовина спочатку надходить у камеру в туманоподібному вигляді і займає велику площу, процес зневоднення проходить дуже швидко (кілька секунд). Під дією сили тяжіння частина сухого продукту опускається на дно камери і виводиться з її нижньої частини. Інша частина зневодненої речовини потоком повітря транспортується в циклонний роздільник, звідки проводиться його розвантаження. За допомогою регулювання потоку гарячого повітря можна скорочувати або збільшувати швидкість випаровування вологи. Вихідні гази

після видалення дрібних частинок у мокрому скрубєрі виводяться з установки.

Може бути дві схеми подачі розчину в апарат:

Прямотоковий. Подача розчину здійснюється зверху сушильної башти. Ця схема дозволяє використовувати високі температури і виключає перегрів речовини. Швидкість газів у камері зазвичай не перевищує 03-05 м/сек. За рахунок цього осідають дрібні частинки (середній розмір крапель зазвичай становить 20-60 мкм) і знижується рівень винесення.

Протитоковий. Подача розчину здійснюється через нижню частину сушильної вежі за допомогою розпилювача форсунки під високим тиском. Осадження часток відбувається повільніше, ніж при прямотоці, а час їх перебування в сушильній камері більше, як наслідок готовий продукт має більшу щільність.

На виробництвах найчастіше застосовуються прямотоковий чи комбінований спосіб подачі сировини.

1.3 Багатоваріантний аналіз

Аналіз літературних джерел [3-10] показав, що сушарки з розпиленням мають ряд суттєвих переваг перед іншими типами сушарок, призначених для висушування емульсій, дрібнодисперсної сировини або суспензій.

З врахуванням п.п.1.1-1.2 можна стверджувати, що найбільш перспективними способами підвищення енергоефективності розпилювальних комплексів для сушіння молочних продуктів є наступні.

1. Варіант. Термічний к.к.д. розпилювальної сушарки можна підвищити за рахунок використання теплоносія з більш вищою температурою. Такий варіант має як свої переваги, так і свої недоліки. Переваги – мінімум витрат на модернізацію, бо температуру теплоносія можна підняти просто змінивши потужність калорифера. Однак, потрібно зважати на те, що сушарка А1ОР2Ч призначена для сушіння молочних продуктів, тому перевищення температури понад ту, максимальну, яка дозволена за технологією сушіння, може призвести до коагуляції білків і, як наслідок, втрати висушеним матеріалом своїх цілющих властивостей;

2. Варіант Можна створити в сушильній установці односпрямований вертикальний потік теплоносія, який нагнітається в робочу камеру, це дозволить рівномірно розподілити гарячий теплоносій по перерізу газорозподільної решітки, в результаті цього буде підвищена відносна рівномірність сушіння крапель за перерізом сушильної башти. Але такий потік дозволяє активно і надійно обробляти тільки поверхню продукту, яка зустрічна потоку, в результаті чого часточки продукту проходять сушильну обробку нерівномірно. Такий односпрямований потік ускладнює руйнування ламінарного приграничного шару навколо краплі, а від його товщини залежать як час так і якість процесу сушіння. Потрібно пам'ятати, що внаслідок різної віддаленості крапель від нагнітаючого повітропровода виникає нерівномірність теплового навантаження на краплі за об'ємом камери і ступінь його готовності;

3. Варіант. Тангенціальне (по радіусу) підведення теплоносія і одночасне спільне виведення відпрацьованого теплоносія і готового сухого продукту не можна визнати вдалим з таких причин. Якщо закручується весь потік газу, то в камері виникають значні перепади динамічних тисків зі зниженням статичного тиску в напрямку до осьової лінії і до верхньої частини розпилювальної сушарки. Через це в камері створюються потужні потоки вторинної циркуляції, які виносять суху речовину в зону високих температур, що знаходиться у верхній частині камери, де можливі як перегрів так і деструкція висушеного продукту. Цей недолік можна усунути розділенням введеного в башту теплоносія на два коаксіальних потоки і невеликим закручуванням їх в різних напрямках для знищення центрального вихору. Є відомості [5] про нерідкі випадки обвалів висушеного продукту, що відклався на стінках або забивання газовідвідного отвору, а це призводить до повної зупинки процесу. Такий недолік може бути усунутий тільки роздільним виведенням газу і продукту.

4. Варіант. Це використання двостадійного процесу сушіння. В першій стадії процесу розпилювальне сушіння протікає в дуже малий проміжок часу. Цей період характеризується високою швидкістю сушіння та високою інтенсивністю дифузії вологи з частинок порошку і підвищеним змістом вологи продукту (від 5% до 9%), який буде вивантажений з сушарки. В другій стадії процесу (досушування продукту до заданого необхідного вологовмісту і його подальше охолодження) сировина

вноситься в окремий апарат, а в ньому процеси протікають за більш м'яких режимів сушильної термообробки (сушіння за 120 °С і охолодження за 15 °С) і досить розтягнуті в часі. Для здійснення другої стадії розроблені вібраційні конвективні сушарки (їх назвали віброфлюїдизатори або інстантайзери), в яких висушений молочний порошок переводиться в вібропсевдозріджений стан, а також наддув потоку гарячого або холодного повітря, при цьому варіанті повітря є одночасно теплоносієм, що може забезпечити необхідну термообробку продукту до заданих параметрів. Схема такої двостадійної сушильної установки показана на Рисунку 1.1.

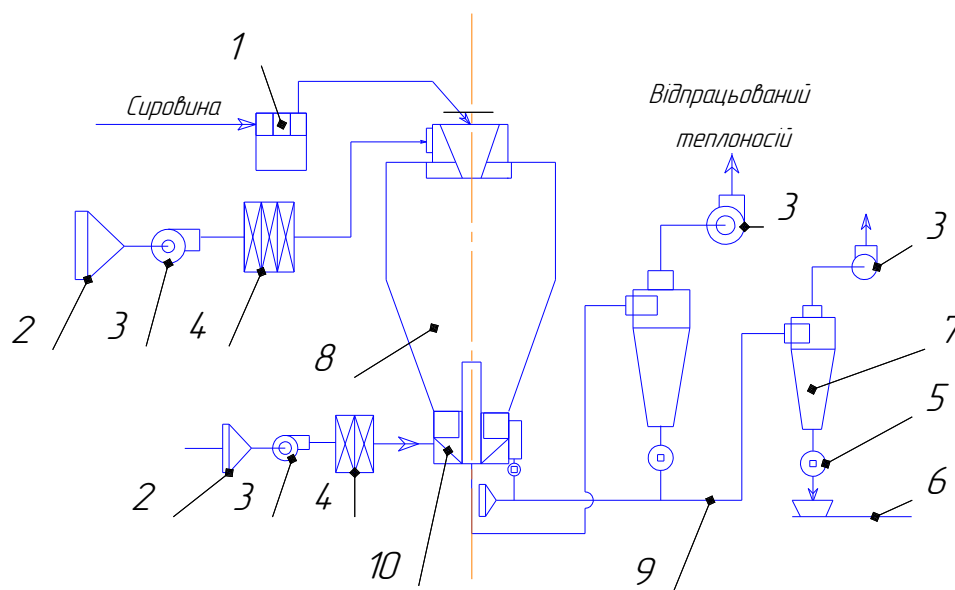


Рисунок 1.1 – Двостадійна розпилювальна сушарка

- 1 – живильник сировини; 2 – фільтр; 3 – витяжні вентилятори; 4 – калорифер для підігріву; 5 – затвор; 6 – готовий висушений продукт; 7 – очисний циклон;
8 – башта; 9 – пневмотранспорт; 10 – віброфлюїдизатор

5. Варіант. Це тристадійна схема, яка працює за одночасного підвищення температури теплоносія, поданого в сушильну башту до 260 °С, та зниженні температури відпрацьованого повітря з башти. У цій установці перша стадія сушіння здійснюється в башті, а друга і третя стадії – в апараті вбудованого киплячого шару та в першій секції інстантайзера. В другій секції інстантайзера відбувається охолодження продукту. Така схема є досить перспективною для сушіння різних неорганічних матеріалів (наприклад, прального порошку). Однак, для сушіння молока вона непридатна, оскільки в башті дуже висока температура

теплоносія.

На рисунку 1.2 представлено порівняння найбільш перспективних способів підвищення енергоефективності розпилювальних сушарок.

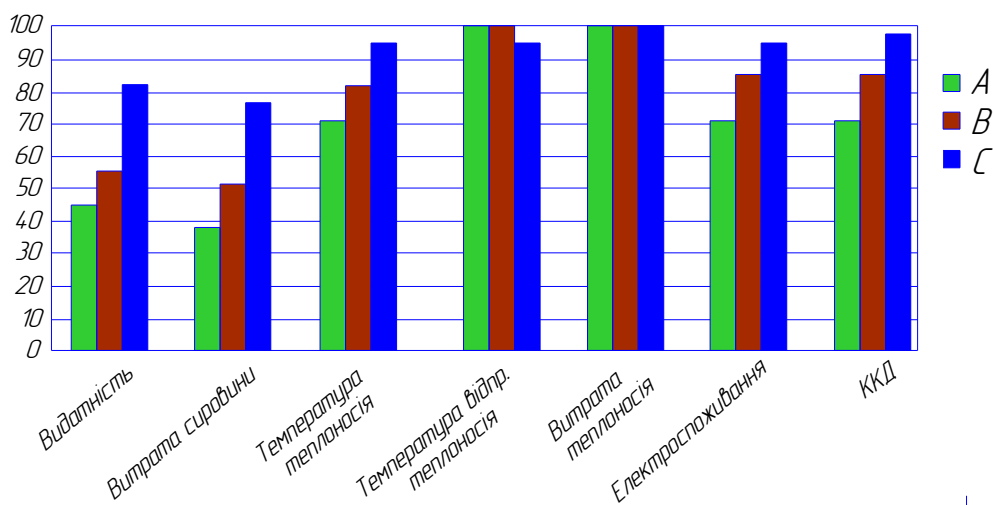


Рисунок 1.2 – Порівняння основних параметрів роботи розпилювальних сушарок

А – сушарка одноступенева; В – сушарка двоступенева з інстантайзером;
С – сушарка двоступенева з інстантайзером і пневмотранспортом

Висновки до Розділу 1.

Розпилювальні сушарки призначені для промислового сушіння дрібнодисперсних продуктів та різноманітних розчинів, надійні в роботі, але споживають досить значну кількість теплоти. Сушіння сировини в таких сушарках практично рівномірне за рахунок постійного руху крапель в потоці теплоносія. Основною відмінністю розпилювальних сушарок є те, що вони мають порівняно високу продуктивність сушіння суспензій та емульсій. Сушарки повністю піддаються автоматизації.

До основних недоліків розпилювальних сушарок можна віднести їх великі габарити, значні капітальні та експлуатаційні витрати та масивність.

Як правило, розпилювальні сушарки, які працюють на молокозаводах для сушіння молока є застарілими як технічно так і морально і потребують модернізації як окремих складових, так і самої сушарки в цілому.

Аналіз варіантів показує, що найбільш перспективним способом модернізації одноступеневої сушарки А1ОР2Ч є установка пневмотранспорту для готового продукту і інстантайзера.

2 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СУШАРКИ А1ОР2Ч

2.1 Формування даних для розрахунку

- кількість випаруваної вологи $W = 300$ (кг/год);
- вологість сировини початкова $\omega_1 = 51\%$;
- температура теплоносія на вході в робочу камеру $t_{п1}=175$ °С;
- температура холодного повітря на вході $t_{хп}=18$ °С;
- вологість сировини кінцева $\omega_2 = 4\%$.

За технологією сушіння [1] молока в сушарці А1-ОР2Ч приймаємо:

- швидкість повітря в камері сушарки $w = 8$ (м/с);
- вологість холодного повітря $\varphi_0=60\%$;
- температура сировини на вході в сушарку $t_{м1}=34$ °С;
- температура теплоносія на виході $t_{п2}=85$ °С;
- температура сировини на виході з сушарки $t_{м2}=55$ °С;
- вологість вихідного теплоносія $\varphi_2=12\%$.

2.2 Процес в теоретичній сушарці

Параметри характерних точок:

точка 1: $\varphi_0=60\%$; $t_0=18$ °С;

точка 2: $t_1=175$ °С;

точка 3: $t_2=85$ °С.

За початковими даними t_0 , φ_0 , в $h-d$ діаграмі знаходимо точку, яка є початком робочого процесу (т.1) і описує параметри свіжого повітря на вході перед сушильною камерою, потім знаходимо точку 2 на перетині ліній $d_0=d_1=const$ і температури t_1 . На перетині ентальпії $h_1 = h_2=const$ та температури t_2 знаходимо точку 3, і визначаємо невідомий параметр – вологовміст d_2 . Процес подано на Рис. 2.1.

Робочі параметри процесу сушіння наведено в таблиці 2.1.

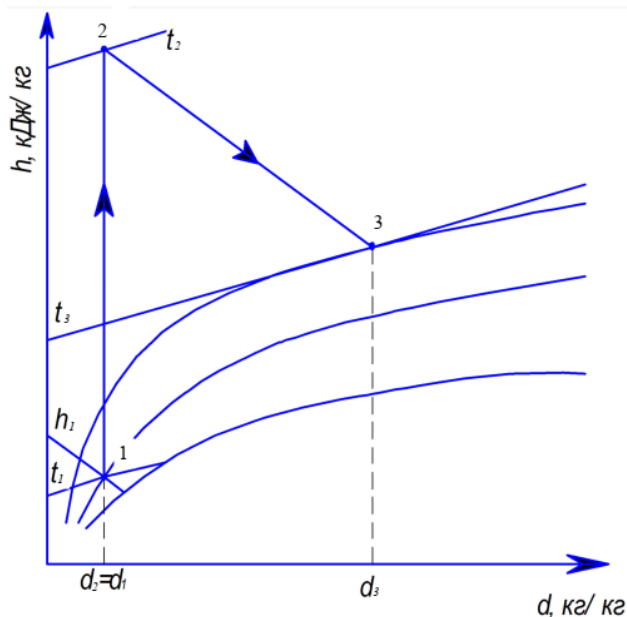


Рисунок 2.1 – Процес сушіння в теоретичній сушарці

Таблиця 2.1 – Параметри теоретичного процесу сушіння

Параметри	Розмірність	точ.1	точ. 2	точ. 3
Вологовміст	г/кг	7,7	7,7	42
Температура t	°C	18	175	85
Темп. мокрогo терм. t_M	°C	13	44,2	43
Ентальпія	кДж/кг	37	197	197

2.2.1 Масовий баланс процесу сушіння

Вміст сухої маси в сировині на початку процесу

$$C_1 = 100 - \omega_1, \quad (2.1)$$

$$C_1 = 100 - 51 = 49\%.$$

Вміст сухої маси в сировині в кінці процесу

$$C_2 = 100 - \omega_2, \quad (2.2)$$

$$C_2 = 100 - 4 = 96\%.$$

Кількість сировини (молока), яке поступає в сушарку

$$M_1 = \frac{W}{1 - \frac{C_1}{C_2}}, \quad (2.3)$$

$$M_1 = \frac{300}{1 - \frac{49}{96}} = 612,2 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right).$$

Витрата (питома) повітря в процесі

$$\ell = \frac{1}{d_2 - d_0}, \quad (2.4)$$

$$\ell = \frac{1000}{42 - 7,7} = 29,1 \left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right).$$

Загальна витрата повітря в процесі сушіння

$$L = W \cdot \ell, \quad (2.5)$$

$$L = 300 \cdot 29,1 = 8730 \text{ (кг/год)}.$$

Питома витрата теплоти в сушарці

$$q = \frac{h_2 - h_0}{d_2 - d_0}, \quad (2.6)$$

$$q = \frac{197 - 37}{0,042 - 0,0077} \cdot 1000 = 4656 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

2.3 Розрахунок дійсної сушарки

Питома теплота на нагрівання матеріалу

$$q_M = \frac{M_1 \cdot (C_M + C_B \omega_2) \cdot (t_{M3} - t_{M2})}{W}, \quad (2.7)$$

де C_B – теплоємність води, $C_B = 4,19$ (кДж/(кг·К)) [4];

C_M – теплоємність абсолютно сухого матеріалу, $C_M = 1,717$ (кДж/(кг·К)) [4];

t_{M3} – температура матеріалу на початку процесу сушіння (точка 3, приймаємо рівною температурі термометра (мокрого) в даній точці $t_{M3} = 43$ °С;

t_{M2} – температура матеріалу на вході в сушарку, $t_{M2} = 18$ °С.

$$q_M = \frac{612,2 \cdot (1,717 + 4,19 \cdot 0,04) \cdot (43 - 18)}{300} = 96 \text{ (кДж / кг)}.$$

Питома теплота на видалення зв'язаної вологи

$$q_{зв} = \frac{a_3 (\omega_{кр} - \omega_2^2)}{2(\omega_1 - \omega_2)}, \quad (2.8)$$

де $\omega_{кр}$ – критична вологість матеріалу, приймаємо 8% [4];

a_3 – коефіцієнт функції $q_{зв} = f(w)$, приймаємо рівним 4187 (кДж/кг) [4];

$$q_{зв} = \frac{4187 \cdot (0,08 - 0,04^2)}{2 \cdot (0,51 - 0,04)} = 352 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Будова стінки сушарки представлена на Рис.2.2.

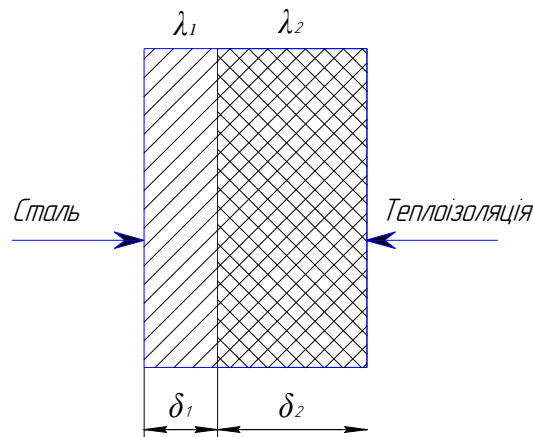


Рисунок 2.2 – Будова стінки сушарки

- теплопровідність сталі: $\lambda_c = 50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- товщина шару сталі: $\delta_1 = 12 \text{ мм}$;
- теплопровідність теплоізоляції $\lambda_{із} = 0,056 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.
- товщина шару теплоізоляції: $\delta_2 = 24 \text{ мм}$;

З креслення сушарки визначаємо:

- висота циліндричної частини $H_1 = 4000 \text{ мм}$;
- діаметр циліндричної частини $D = 4000 \text{ мм}$;
- висота конуса $H_2 = 3800 \text{ мм}$.

За визначальну температуру беремо температуру теплоносія в камері $t_b = 175 \text{ °С}$ [4].

З таблиць властивостей сухого повітря [4] визначаємо параметри теплоносія (за результатами інтерполяції):

- коефіцієнт теплопровідності: $\lambda = 3,71 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- коефіцієнт динамічної в'язкості: $\nu = 31,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- критерій Прандтля: $Pr = 0,682$;

Критерій Рейнольдса для вимушеної конвекції

$$Re = \frac{\omega \cdot D}{\nu}, \quad (2.9)$$

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot 8 \cdot 10^6}{31,21} = 1025312.$$

Оскільки $\text{Re} = 1025312 > 5 \cdot 10^5$, то вважаємо режим руху теплоносія біля стін у розпилювальній сушарці турбулентним.

Критерій Нуссельта, для турбулентного режиму

$$\text{Nu} = 0,032\text{Re}^{0,8}, \quad (2.10)$$

$$\text{Nu} = 0,032 \cdot 1025312^{0,8} = 2059.$$

Коефіцієнт тепловіддачі в камері

$$\alpha_1 = \frac{\lambda \cdot \text{Nu}}{\ell^*}, \quad (2.11)$$

$$\alpha_1 = \frac{2059 \cdot 0,0371}{4} = 19,1 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Для розрахунку тепловіддачі від зовнішніх стінок за визначальну температуру приймемо температуру оточуючого повітря $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ [4].

З таблиці теплофізичних властивостей повітря [4] вибираємо параметри теплоносія (за результатами інтерполяції):

- коефіцієнт теплопровідності: $\lambda = 2,57 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$
- коефіцієнт динамічної в'язкості: $\nu = 14,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}/\text{с};$
- критерій Прандтля: $\text{Pr} = 0,704;$

Коефіцієнт термічного розширення середовища

$$\beta = \frac{1}{T}, \quad (2.12)$$

$$\beta = \frac{1}{18 + 273} = 0,0032 \left(\frac{1}{\text{K}} \right).$$

Критерій Грасгофа

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot H^3}{\nu^2}, \quad (2.13)$$

де g – прискорення вільного падіння;

$H = 4$ м – визначальний розмір для вільної конвекції.

$$\text{Gr} = \frac{9,8 \cdot 45 \cdot 4^3}{(273 + 18)(14,8 \cdot 10^{-6})^2} = 3,2 \cdot 10^{11}.$$

Тоді критерій Релея

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr}, \quad (2.14)$$

$$\text{Ra} = 3,2 \cdot 10^{11} \cdot 0,704 = 2,2 \cdot 10^{11}.$$

Критерій Нуссельта для вільної конвекції за турбулентного руху

$$\text{Nu} = 0,15 \text{Ra}^{0,333}, \quad (2.15)$$

$$\text{Nu} = 0,15 \cdot (2,2 \cdot 10^{11})^{0,333} = 897.$$

Коефіцієнт тепловіддачі визначимо за формулою (2.11)

$$\alpha_c = \frac{897 \cdot 0,0257}{4} = 5,8 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Повний термічний опір теплопровідності, відповідно до Рис. 2.2

$$R_{\Sigma} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad (2.16)$$

$$R_{\Sigma} = \left(\frac{12 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{24 \cdot 10^{-3}}{0,056} \right) = 0,43 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right).$$

Коефіцієнт теплопередачі через стінку сушарки

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{\Sigma} + \frac{1}{\alpha_{\text{пр}}}}, \quad (2.17)$$

$$k = \left(\frac{1}{19,1} + 0,43 + \frac{1}{5,8} \right)^{-1} = 1,53 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Площа зовнішньої поверхні стін в розпилювальній сушарці

$$F = \frac{\pi \cdot D \cdot \sqrt{\left(\frac{H_1}{2}\right)^2 + H_2^2}}{2} + \pi \cdot D \cdot H_1, \quad (2.18)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot \sqrt{\left(\frac{4}{2}\right)^2 + 3,8^2}}{2} + 3,14 \cdot 4 \cdot 4 = 77,2 \left(\text{м}^2 \right).$$

Загальні (повні) втрати теплоти через стінки сушарки

$$Q_5 = k \Delta t F. \quad (2.19)$$

$$Q_5 = 1,53 \cdot 77,2 \cdot 45 = 5315 \text{ (Вт)}.$$

Теплові втрати через стінки, віднесені до кількості випаруваної вологи

$$q_5 = \frac{Q_5}{W}, \quad (2.20)$$

$$q_5 = \frac{5315}{300} \cdot 3,6 = 63,782 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Внутрішній (тепловий) баланс сушарки

$$\Delta = c_B t_M - (q_M + q_{зв} + q_5), \quad (2.21)$$

$$\Delta = 4,2 \cdot 18 - (96 + 352 + 63,7) = -436,1 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Процес сушіння в дійсній сушарці в h-d діаграмі представлено на Рис.2.3.

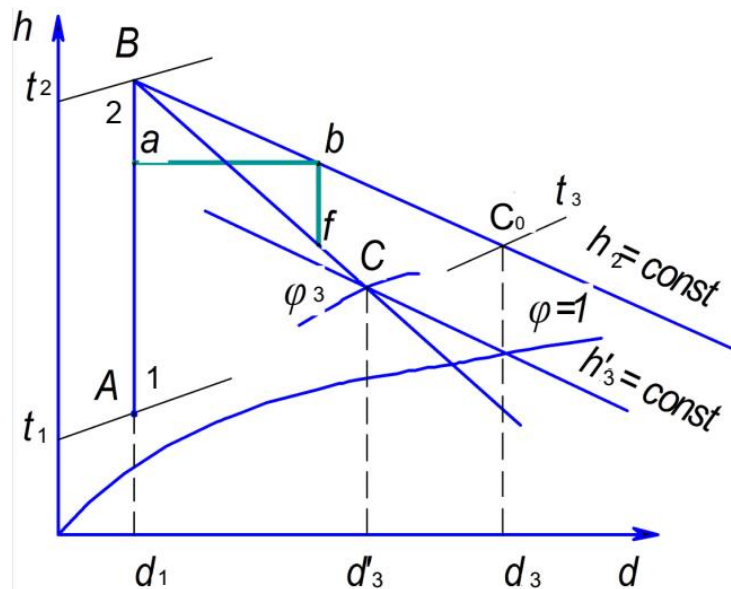


Рисунок 2.3 – Схема процесу в дійсній сушарці

За заданими параметрами повітря φ_1 та t_1 і сушильного агента наносимо на h-d діаграму точки A і B. Проводимо лінію теоретичного процесу сушіння і знаходимо точку C_0 на перетині заданої лінії з температурою t_3 . На лінії BC_0 вибираємо точку b в довільному місці і проведемо лінію ab. Визначаємо довжину $ab = 48$ мм.

Знаходимо довжину лінії bf , враховуючи при цьому масштаб діаграми

$$bf = ab \frac{\Delta}{2500} = 48 \frac{436,1}{2500} = 8,4 \text{ (мм)}. \quad (2.22)$$

Відкладаємо відрізок bf строго вниз і через знайдену точку f проводимо лінію, яка b перетиналася з вологістю відпрацьованого теплоносія φ_2 . Точка C знаходиться там, де дійсні параметри відпрацьованого сушильного агента. Температура відпрацьованого теплоносія за діаграмою становить 83°C . При розрахунку ми її прийняли рівною 85°C . Визначимо розбіжність $\varepsilon = \frac{83-85}{83} \cdot 100 = 2,4\%$, тому перерахунок можна не проводити.

За діаграмою вологовміст вихідного теплоносія в сушарці $d'_2 = 38 \text{ г/кг}$, ентальпія складає $h'_2 = 183 \text{ кДж/кг}$.

Для визначення теплової потужності і ККД сушарки знаходимо питому витрату теплоти

$$q = \frac{h'_2 - h_0}{d'_2 - d_0}, \quad (2.19)$$

$$q = \frac{183 - 37}{0,038 - 0,0077} = 4818 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Загальна витрата теплоти в сушарці

$$Q_\Sigma = \frac{q \cdot W}{3,6}, \quad (2.20)$$

$$Q_\Sigma = \frac{4,818 \cdot 300}{3,6} = 401,5 \text{ (кВт)}.$$

Питому витрату повітря визначимо за (2.4)

$$\ell = \frac{1}{0,038 - 0,077} = 33 \left(\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right).$$

Загальна витрата повітря в дійсній сушарці

$$L = \ell \cdot W, \quad (2.21)$$

$$L = 33 \cdot 300 = 9900 \left(\frac{\text{кг}}{\text{год}} \right) = \frac{9900}{3600} = 2,75 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

ККД сушарки А1ОР2Ч

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\Sigma}} 100\%, \quad \text{або } \eta = \frac{W \cdot r}{Q_{\Sigma}} 100\% \quad (2.22)$$

де r – питома теплота пароутворення, $r(t=18^{\circ}\text{C}) = 2458 \text{ кДж/кг}$ [14].

$$\eta = \frac{300 \cdot 2458}{3600 \cdot 401,5} 100\% = 51\%.$$

Висновки до 2 Розділу

В даному розділі розраховано конвективну розпилювальну сушарку А1-ОР2Ч, побудовано теоретичний та дійсний процеси в діаграмі Рамзіна, визначено теплофізичні параметри процесу сушіння. Загальна витрата теплоти $Q = 401,5 \text{ (кВт)}$, загальна витрата вологого повітря $L = 2,75 \text{ (кг/с)}$.

Коефіцієнт корисної дії сушарки 51%.

3 РОЗРАХУНКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

3.1 Розрахунок очисного пристрою (циклона)

Кількість повітря для очищення за робочих умов $G = 9900$ кг/год.

Густина сухого повітря для $t = 85$ °C (з п.п 2.1).

$$\rho_{\text{сп}} = \frac{P}{RT}, \quad (3.1)$$

$$\rho_{\text{сп}} = \frac{100}{0,287 \cdot (273 + 85)} = 0,973 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right).$$

Густина вологого повітря, за вологовмісту $d = 38$ г/кг (з п.п 2.3).

$$\rho_{\text{вп}} = \rho_{\text{сп}} \frac{1 + d}{1 + 1,61d}, \quad (3.2)$$

$$\rho_{\text{вп}} = 0,973 \frac{1 + 0,038}{1 + 1,61 \cdot 0,038} = 0,952 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \right).$$

Об'ємна витрата відпрацьованого теплоносія

$$V = G \cdot \rho_{\text{вп}}, \quad (3.3)$$

$$V = \frac{9900}{3600} \cdot 0,952 = 2,6 \left(\frac{\text{М}^3}{\text{с}} \right).$$

За літературними даними [25] оптимальна швидкість газу в циклоні $\omega_{\text{опт}} = 3,5$ м/с.

Необхідна площа перерізу циклона

$$F = \frac{V}{\omega_{\text{опт}}}, \quad (3.4)$$

$$F = \frac{2,6}{3,5} = 0,748 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Знайдемо діаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785}}, \quad (3.5)$$

$$D = \sqrt{\frac{0,748}{0,785}} = 0,976 \text{ (м)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр циклона: $D = 1000$ мм [24].

Дійсна швидкість газу в такому циклоні

$$\omega = \frac{V}{0,785 \cdot D^2}, \quad (3.6)$$

$$\omega = \frac{2,6}{0,785 \cdot 1^2} = 3,312 \text{ (м/с)}.$$

Виконуємо перевірку

$$\frac{\omega_{\text{опт}} - \omega}{\omega_{\text{опт}}} \cdot 100\% = \frac{3,5 - 3,312}{3,5} \cdot 100\% = 5,39\%.$$

Відхилення дійсної швидкості теплоносія в циклоні менше від оптимальної на 5,39% < 15%, перерахунок діаметра можна не робити.

Коефіцієнт гідравлічного опору

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{1600}^{\text{ц}} + K_3, \quad (3.7)$$

де K_1 – поправковий коефіцієнт до діаметра циклона, приймаємо $K_1=1$;

$\xi_{1000}^{\text{ц}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору циклона, $\xi_{1000}^{\text{ц}}=165$ [24];

K_2 – поправковий коефіцієнт на запиленість теплоносія, прийmemo $K_2=0,93$;

K_3 – коефіцієнт, враховуючий додаткові втрати динамічного тиску, $K_3=0$.

$$\xi_{\text{ц}} = 0 + 1 \cdot 0,93 \cdot 165 = 153.$$

Втрати динамічного тиску в циклоні

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (3.8)$$

$$\Delta P = 153 \cdot \frac{0,952 \cdot 3,31^2}{2} = 798 \text{ (Па)}.$$

Довжина шляху газового потоку в середині циклона

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

Швидкість запиленого теплоносія у вхідному патрубку

$$v_{\text{окр}} = \frac{V}{b \cdot a}, \quad (3.9)$$

де $b = 0,304$ – ширина вхідного патрубку, м [24];

$a = 0,7$ – висота вхідного патрубку, м [24].

$$v_{\text{окр}} = \frac{2,6}{0,304 \cdot 0,7} = 12,2 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Швидкість осадження пилових часток

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{d_{\text{чп}}^2 \cdot (\rho_{\text{чп}} - \rho_{\text{в}}) \cdot v_{\text{окр}}^2}{g \cdot \mu_{\text{вх}} \cdot D}, \quad (3.10)$$

де $\mu_{\text{вх}}$ – динамічна в'язкість теплоносія на вході в циклон, Н·с/м²;

$\rho_{\text{чп}}$ – густина часток пилу в теплоносієві, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$d_{\text{чп}}$ – діаметр часток пилу для осаджування, прийmemo $d_{\text{ч}}=45 \cdot 10^{-5}$ м [24].

$$\omega_{\text{ос}} = \frac{(45 \cdot 10^{-5})^2 \cdot (1045 - 0,952) \cdot 12,2^2}{9,81 \cdot 21,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 15,2 \text{ (м/с)}.$$

Час перебування часток в циклоні

$$\tau = \frac{L_{\text{ц}}}{\omega_{\text{ос}}}, \quad (3.11)$$

$$\tau = \frac{6,28}{15,2} = 0,413 \text{ (с)}.$$

3.2 Вибір нагнітальної машини

Оскільки молоко розпилюється на часточки різної величини, які не всі одночасно осідають в конусній частині бункера, відпрацьований теплоносій містить велику кількість молочного пилу. Доцільним є додаткове очищення такого теплоносія і відбирання з нього дрібних часток молока. Виведення відпрацьованого теплоносія із робочої камери (з залишками висушеного молока) передбачається виконувати вентилятором ВЦ 4-70, № 12,5. Видатність такого одного вентилятора

становить 25000 – 60000 м³/год, що задовольняє потреби сушарки.

Об'ємна витрата охолодженого запиленого теплоносія

$$V = \frac{G}{\rho_T}, \quad (3.12)$$

де ρ_T – густина запиленого теплоносія, кг/м³.

З [21], при температурі навколишнього середовища, $\rho_T = 1,23$ кг/м³.

$$V = \frac{9900}{1,23} = 8048 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right).$$

Потужність електродвигуна

$$N_e = \frac{1,1 \cdot V \cdot H_e}{102 \cdot 3600 \cdot \eta_m \cdot \eta_b}, \quad (3.13)$$

$$N = \frac{1,1 \cdot 8048 \cdot 550}{102 \cdot 3600 \cdot 0,9 \cdot 0,7} = 21 \text{ кВт.}$$

Для видалення відпрацьованого теплоносія можна встановити вентилятор типу ВЦ 4-70, № 12,5, з електродвигуном АИР200М8 потужністю 22 кВт.

Частота обертів такого двигуна 750 об/хв забезпечує динамічний тиск 1100 Па, а видатність одного вентилятора на рівні 45550 м³/год. Маса одного вентилятора в зборі з двигуном – 856 кг.

Привід від двигуна через клинопасову передачу.

3.3 Розрахунок спірального теплообмінника

3.3.1 Технологічний розрахунок спірального ТА

Сформуємо початкові дані

- температура продуктів згорання на вході і виході з ТА, відповідно $t'_1 = 400\text{ °C}$, $t''_1 = 30\text{ °C}$;
- температура свіжого навколишнього повітря на вході і виході з ТА, відповідно $t'_2 = 10\text{ °C}$, $t''_2 = 168\text{ °C}$;
- потужність ТА $Q = 250\text{ кВт}$.

Приймаємо протитоківий режим руху в ТА (рис.3.1).

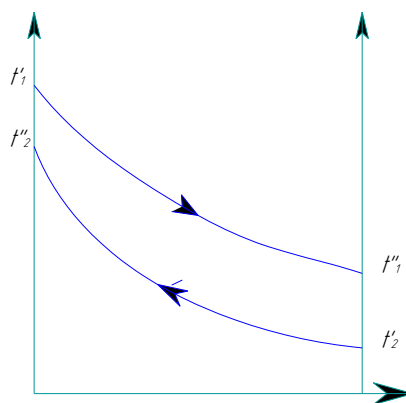


Рисунок 3.1 – Температурна графіки для протитоків

Більше температурне навантаження

$$\Delta t_{\delta} = t'_1 - t'_2 = 401 - 169 = 232\text{ °C};$$

Менше

$$\Delta t_{\text{м}} = t''_1 - t''_2 = 30 - 10 = 20\text{ °C}$$

Оскільки відношення температурних навантажень $\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}} = 232 / 20 = 11,6$, необхідно використати формулу середньологарифмічного температурного напору

$$\Delta t_{\text{сп}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}})}, \quad (3.14)$$

$$\Delta t_{\text{сп}} = \frac{232 - 20}{\ln(232 / 20)} = 86,5\text{ °C}.$$

Середня температура гарячих відхідних газів

$$\bar{t}_1 = \frac{t'_1 + t''_1}{2} = \frac{400 + 30}{2} = 215^\circ\text{C}.$$

Середня температура підігрітого свіжого повітря

$$\bar{t}_2 = \frac{t'_2 + t''_2}{2} = \frac{168 + 10}{2} = 89^\circ\text{C}.$$

Витрата відхідних газів

$$G_1 = \frac{Q}{C_{p1}(t'_1 - t''_1)}, \quad (3.15)$$

де теплоємність відхідних газів при 215°C : $C_{p1} = 1,01 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ [1],

$$G_1 = \frac{250}{1,01(400 - 30)} = 0,669 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата свіжого чистого повітря

$$G_2 = \frac{Q}{C_{p2}(t''_2 - t'_2)}, \quad (3.16)$$

де теплоємність повітря $C_{p2} = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ [17]

$$G_2 = \frac{250}{1,005 \cdot (168 - 10)} = 1,57 \text{ (кг/с)}.$$

Приймаємо висоту каналів для відхідних газів $h = 2$ метри, ширину $s = 40$ мм.

Тоді, площа перерізу одного каналу

$$f_1 = s \cdot h = 0,04 \cdot 2 = 0,08 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Швидкість відхідних газів в каналі становить

$$\omega_{\text{вг}} = \frac{G_1}{f_1 \cdot \rho_{\text{вг}}}, \quad (3.17)$$

де $\rho_{\text{вг}} = 0,73 \text{ кг/м}^3$ – густина відхідних газів за середньої температури [15]

$$\omega_{\text{вг}} = \frac{0,669}{0,08 \cdot 0,73} = 11,4 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Швидкість свіжого повітря в каналі

$$\omega_{\text{сп}} = \frac{G_2}{f_1 \cdot \rho_{\text{сп}}}, \quad (3.18)$$

де $\rho_{\text{сп}} = 0,972 \text{ кг/м}^3$ – густина свіжого повітря [15]

$$\omega_{\text{сп}} = \frac{1,57}{0,08 \cdot 0,972} = 20,2 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Приймаємо товщину перегородки між каналами $\delta = 3,5$ мм [21].

3.3.2 Тепловий розрахунок

Коефіцієнт тепловіддачі від відхідних газів

Еквівалентний діаметр каналу

$$d_e = \frac{4 \cdot F}{\Pi} = \frac{h \cdot 4s}{2s + 2h}, \quad (3.19)$$

$$d_e = \frac{4 \cdot 2 \cdot 0,008}{2 \cdot 0,008 + 2 \cdot 2} = 0,0162 \text{ (м)}.$$

Критерій Рейнольдса

$$Re_r = \frac{\omega_r \cdot d_e}{\nu_r}, \quad (3.20)$$

де $\nu_r = 34,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кінематична в'язкість відхідних газів [19].

$$Re_r = \frac{11,4 \cdot 0,016}{34,2 \cdot 10^{-6}} = 5333 .$$

Оскільки $2000 < Re$ то, для спіральних теплообмінників, критерій Нуссельта

$$Nu_1 = 0,021 Re_1^{0,8} Pr_1^{0,43} . \quad (3.21)$$

де $Pr_1 = 0,66$ критерійПрандтля для відхідних газів в потоці.

В першому наближенні для відхідних газів прийmemo $\left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{0,25} = 1$.

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 5333^{0,8} \cdot 0,66^{0,43} = 17,2.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від димових газів

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_e}, \quad (3.22)$$

де теплопровідність димових газів $4,1 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) [19].

$$\alpha_1 = \frac{17,2 \cdot 4,1 \cdot 10^{-2}}{0,016} = 39 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі від стінки до свіжого повітря, знайдемо число Рейнольдса, за (2.2), де кінематична в'язкість повітря, $\nu_2 = 22,1 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$\text{Re}_2 = \frac{20,2 \cdot 0,016}{22,1 \cdot 10^{-6}} = 14691 .$$

Критерій Нуссельта

$$\text{Nu}_2 = 0,021 \text{Re}_2^{0,8} \text{Pr}_2^{0,43} . \quad (3.23)$$

де $\text{Pr}_2 = 0,69$ – критерій Прандтля для повітря в потоці.

$$\text{Nu}_2 = 0,021 \cdot 14691^{0,8} \cdot 0,69^{0,43} = 39.$$

Коефіцієнт тепловіддачі до повітря визначимо за (2.5), де теплопровідність повітря $\lambda_2 = 3,14 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К).

$$\alpha_2 = \frac{39 \cdot 3,14 \cdot 10^{-2}}{0,016} = 76,1 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Термічний опір перегородки ТА

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + r_1 , \quad (3.24)$$

де $\lambda_{\text{ст}} = 18$ Вт/(м·К) – теплопровідність нержавіючої сталі [19];

$r_1 = 1,7 \cdot 10^{-4}$ (м·К)/Вт – термічний опір забруднень стінки відхідними газами [21]

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,0035}{18} + 1,7 \cdot 10^{-4} = 3,71 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right).$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.25)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{39} + 3,71 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{76,1}} = 25,1 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Температура теплопередаючої стінки

– з боку відхідних газів

$$t_{\text{cr1}} = t_{\text{cp1}} - \frac{k \cdot \Delta t_{\text{cp}}}{\alpha_1}, \quad (3.26)$$

$$t_{\text{cr1}} = 215 - \frac{25,1 \cdot 86,5}{39} = 158,1^\circ \text{C}.$$

– з боку повітря

$$t_{\text{cr2}} = t_{\text{cp2}} + \frac{k \cdot \Delta t_{\text{cp}}}{\alpha_2}, \quad (3.27)$$

$$t_{\text{cr2}} = 89 + \frac{25,1 \cdot 86,5}{76,1} = 117,1^\circ \text{C}.$$

Уточнюємо числа Прандтля при температурі стінки

$$Pr_{1cr} = 0,68; \quad Pr_{2cr} = 0,686 [19].$$

Оскільки числа Прандтля співпадають, уточнення коефіцієнта теплопередачі можна не виконувати.

Поверхня теплообміну

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (3.28)$$

$$F = \frac{250000}{25,1 \cdot 86,5} = 115,6 \approx 116 \text{ (м}^2\text{)}.$$

3.3.3 Конструктивний розрахунок

3.3.3.1 Діаметр апарата

Довжина спіралі

$$\ell = \frac{F}{2h}, \quad (3.29)$$

$$\ell = \frac{115,6}{2 \cdot 2} = 29 \text{ (м)}.$$

Крок спіралі

$$y_1 = y_2 = s + \delta, \quad (3.30)$$

$$y_1 = y_2 = 0,04 + 0,0034 = 0,0434 \text{ (м)},$$

З врахуванням розташування штуцера приймаємо радіус половини витка $r = 0,2$ м.

Тоді, число напіввитків в першій спіралі

$$n_1 = \left(0,5 - \frac{r_1}{y_1} \right) + \sqrt{\left(\frac{r_1}{y_1} \right)^2 + \frac{2\ell}{\pi \cdot y_1}}, \quad (3.31)$$

$$n_1 = \left(0,5 - \frac{0,2}{0,0434} \right) + \sqrt{\left(\frac{0,2}{0,0434} \right)^2 + \frac{2 \cdot 29}{3,14 \cdot 0,0434}} = 24,$$

Число напіввитків другої спіралі

$$n_2 = \left(\frac{y_1 - 0,5y_2 - r_1}{y_2} \right) + \sqrt{\left(\frac{r_1 + 0,5y_2 - y_1}{y_2} \right)^2 + \frac{2\ell}{\pi \cdot y_2}}, \quad (3.32)$$

$$n_2 = \left(\frac{0,0434 - 0,5 \cdot 0,0434 - 0,2}{0,0434} \right) + \sqrt{\left(\frac{0,2 + 0,5 \cdot 0,0434 - 0,0434}{0,0434} \right)^2 + \frac{2 \cdot 29}{3,14 \cdot 0,0434}} = 21,72.$$

Приймаємо $n_1 = n_2 = 24$.

Визначаємо діаметр апарата

$$D = 2[r + (n + 1)y_2 - y_1] + 2\delta, \quad (3.33)$$

$$D = 2[0,2 + (24 + 1)0,0434 - 0,0434] + 2 \cdot 0,0035 = 2,493 \text{ (м)}.$$

Приймаємо $D = 2500 \text{ (мм)} = 2,5 \text{ (м)}$.

Приймаємо швидкість і повітря і відхідних газів в штуцерах $w_{шт} = 19 \text{ м/с}$.

Штуцери для входу і виходу відхідних газів

$$d'_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{G_1}{0,785 \cdot w_{\text{шр}} \cdot \rho_1}}, \quad (3.34)$$

$$d'_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{0,669}{0,785 \cdot 19 \cdot 0,73}} = 0,243 \text{ (м)}.$$

Прийmemo $d_1 = 250$ мм.

Штуцери для виходу і входу свіжого повітря, за (3.34)

$$d''_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{1,57}{0,785 \cdot 19 \cdot 0,972}} = 0,319 \text{ (м)}.$$

Прийmemo $d_2 = 320$ мм.

Всі розраховані штуцери комплектуються фланцями плоскими приварними за ДСТУ ISO 7005-1 : 2005, конструкція и розміри яких вказані в таблиці 3.1, а вигляд – на рис 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики фланців приварних [13]

$d_{\text{ум}}$	D_3	D_2	D_1	$h_{\text{ф}}$	n	d_6
320	430	400	370	14	6	14
250	360	330	300	14	6	14

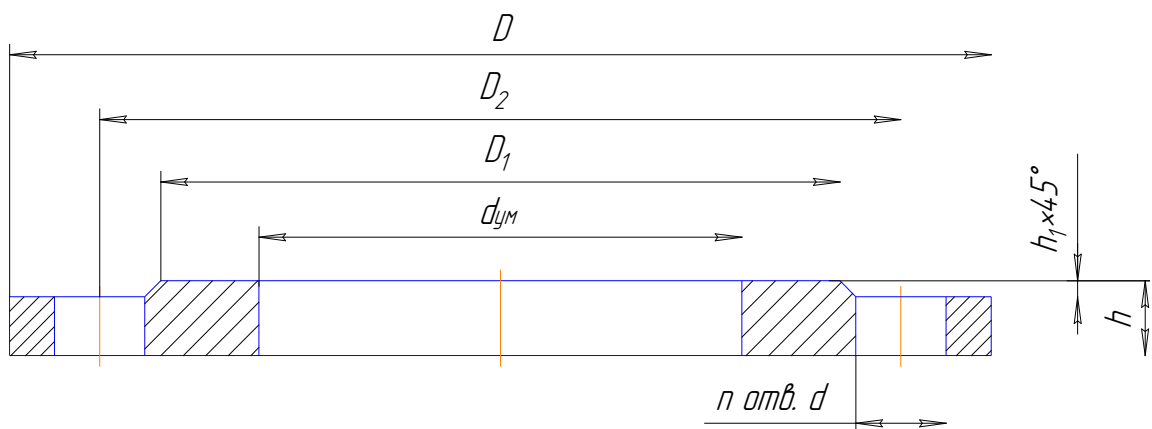


Рисунок 3.1 – Фланець приварний плоский

Вибір опор апарата.

Маса теплообмінника

$$m = m_1 + m_B + m_2, \quad (3.35)$$

де m_1 – маса спіралей;

m_B – маса води, що заповнює апарат при гідро випробуваннях;

m_2 – маса додаткових елементів (фланців і штуцерів).

Маса спіралей

$$m_1 = 2 \cdot h \cdot \ell \cdot \delta \cdot \rho_{ст}, \quad (3.36)$$

де $\rho_{ст} = 7950 \text{ кг/м}^3$ – густина сталі [15].

$$m_1 = 2 \cdot 2 \cdot 29 \cdot 0,0035 \cdot 7900 = 3207,4 \text{ (кг)}.$$

Маса води

$$m_B = [0,785 \cdot D^2 \cdot h - 2h \cdot \ell \cdot \delta] \rho_B, \quad (3.37)$$

де $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина води [1].

$$m_B = [0,785 \cdot 2,5^2 \cdot 2 - 2 \cdot 2 \cdot 29 \cdot 0,0035] \cdot 1000 = 9406,5 \text{ (кг)}.$$

Масу додаткових елементів m_2 приймаємо 5% від основної ваги апарата [13]

Загальна маса апарата

$$m_{\Sigma} = m_1 + 0,05 \cdot m_1 = 3207,4 + 0,05 \cdot 3207,4 = 3368 \text{ (кг)}.$$

Тоді вага апарата при гідровипробуваннях

$$G_a = (m_{\Sigma} + m_b) \cdot 10 = (3368 + 9406,5) \cdot 10 = 127745 \text{ (Н)} = 128 \text{ (кН)}.$$

Приймаємо для апарата дві опори у вигляді лап [3].

Навантаження на одну опору

$$G = G_a/2 = 128/2 = 64 \text{ (кН)}.$$

Вибираємо опору з допустимим навантаженням 80 кН, конструкція якої приводиться на Рис. 3.2.

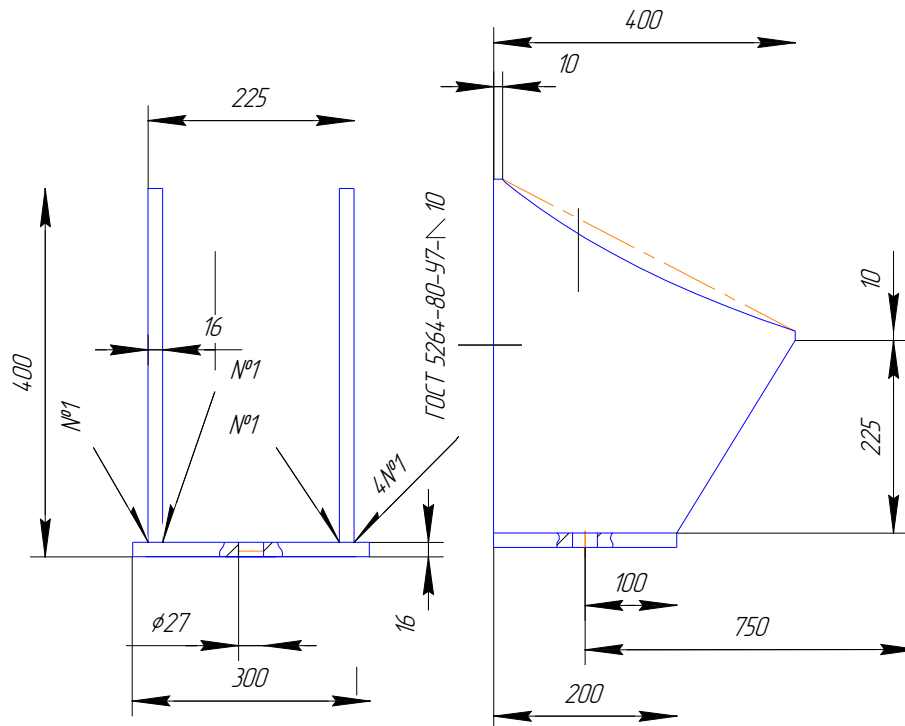


Рисунок 3.2 – Опора ТА

3.3.4 Гідравлічний розрахунок

Основним завданням гідравлічного розрахунку є визначення гідравлічних опорів у ТА і вибір нагнітальників для подачі обох теплоносіїв.

Коефіцієнт тертя для каналу відхідних газів

$$\xi_r = \frac{0,856}{\text{Re}_1^{0,25}}, \quad (3.38)$$

$$\xi_r = \frac{0,856}{5333^{0,25}} = 0,101.$$

Тоді

$$\Delta P_r = \xi_r \frac{\ell \omega_1^2 \rho_r}{2d_e} + 1,5 w_{\text{шт}}^2 \rho_r. \quad (3.39)$$

$$\Delta P_r = 0,101 \frac{29 \cdot 11,4^2 \cdot 0,73}{2 \cdot 0,016} + 1,5 \cdot 19^2 \cdot 0,73 = 9032 \text{ (Па)}.$$

Об'ємна секундна витрата відхідних газів

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_r}, \quad (3.40)$$

$$V_1 = \frac{0,669}{0,73} = 0,92 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

Вибираємо відцентровий вентилятор, видатністю $V = 0,92 \text{ м}^3/\text{с}$, з напором $\Delta P = 9 \text{ кПа}$ [14].

Коефіцієнт тертя каналу для повітря, за (3.38)

$$\xi_2 = \frac{0,856}{14690^{0,25}} = 0,078.$$

Тоді втрати тиску, за (3.39)

$$\Delta P_2 = 0,078 \frac{29 \cdot 21,2^2 \cdot 0,972}{2 \cdot 0,016} + 1,5 \cdot 19^2 \cdot 0,972 = 11048 \text{ (Па)}.$$

Об'ємна витрата газів

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1}, \quad (3.41)$$

$$V_1 = \frac{1,57}{0,972} = 1,701 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

Вибираємо вентилятор відцентровий, видатністю $V = 1,701 \text{ м}^3/\text{с}$, і з напором $\Delta P = 11 \text{ кПа}$ [14].

3.3.5 Розрахунок теплової ізоляції

Приймаємо температуру навколишнього середовища $t_{\text{н}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, а температуру зовнішньої поверхні стінки $t_{\text{ст.з}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. ТА розташовуємо вертикально на лапах.

Конвекція природна. Критерій Грасгофа

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \ell^3}{\nu_2^2}, \quad (3.42)$$

де β – коефіцієнт термічного розширення, $\beta = \frac{1}{T}$, К.

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

$$\text{Gr} = \frac{9,8 \cdot (40 - 10) \cdot 2^3}{283 \cdot (22 \cdot 10^{-6})^2} = 1,31 \cdot 10^{10}.$$

Критерій Релея

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr}_2, \quad (3.43)$$

$$Ra = 1,31 \cdot 10^{10} \cdot 0,69 = 8,972 \cdot 10^9.$$

Число Нуссельта, для природної конвекції при турбулентному режимі

$$Nu = 0,15 \cdot Ra^{0,33}, \quad (3.44)$$

$$Nu = 0,15(8,97 \cdot 10^9)^{0,33} = 288.$$

Тепловіддача від зовнішньої стінки теплообмінника, за (3.5)

$$\alpha_n = \frac{288 \cdot 3,13 \cdot 10^{-2}}{2} = 4,5 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

В якості матеріалу теплоізоляції виберемо спінений полістирол.

Товщина ізоляції

$$\delta_{iz} = \frac{\lambda_{iz} (\bar{t}_1 - t_{ст.3})}{\alpha_n (t_{ст.3} - t_n)},$$

де теплопровідність теплоізоляційного матеріалу $\lambda_{iz} = 0,051 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

$$\delta_{iz} = \frac{0,051 \cdot (215 - 40)}{4,5 \cdot (40 - 10)} = 0,071 (\text{м}).$$

Приймаємо товщину теплової ізоляції 8 см.

3.4 Монтаж спірального теплообмінника, циклона та вентиляторів

Розрахунок кількості та комплектування всіх основних та допоміжних матеріалів подані у таблиці 3.2.

Трубопроводи підібрано згідно ДБН Д. 2.4-15-2000.

Повітропроводи підібрано згідно ДБН Д.2.2-20-99.

Ізоляційні роботи згідно ДБН 2.4.19-2000.

Таблиця 3.2 – Відомість витрат основних матеріалів

№ п. п	Найменування матеріалу	Одиниці вимірю-	Кіль- кість	Маса оди- ниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Основні матеріали					
1	Спиральний теплообмінник	шт	1	3368	3368
2	Вентилятор ВЦ 4-70 №12,5	шт	2	1020	2040
3	Вентилятор ВЦП №6	шт	1	317	317
4	Вентилятор ВЦП №3	шт	1	93	93
5	Циклон ЦН-15-650	шт	1	280	280
6	Повітропроводи-короба сталеві зі зварними стиками та фланцями на умовний тиск до 2,5 МПа, які монтуються з готових вузлів, перерізом 320×320×0,7 мм.	м ²	15,24	4,8	73,16
7	Повітропроводи-короба сталеві зі зварними стиками та фланцями на умовний тиск до 2,5 МПа, які монтуються з готових вузлів, перерізом 400×400×0,7 мм.	м ²	12,18	4,8	58,48
8	Повітропроводи-короба сталеві зі зварними стиками та фланцями на умовний тиск до 2,5 МПа, які монтуються з готових вузлів, перерізом 500×500×0,7 мм.	м ²	1,54	4,8	7,38
9	Відвід 90° 320×320×1 прямокутний вентиляційний ДСТУ EN 12599:2016	шт	7	3,86	27,02
10	Відвід 90° 400×400×1 прямокутний ДСТУ EN 12599:2016	шт	2	4,08	8,16
11	Трійник кр. 400×400 мм, нерж AISI430 0,5	шт	2	3,52	4,04
12	Фільтр повітряний	1м ²	0,74	5,6	11,2
13	Перехід квадрат-круг 600×600*d320 нержавіючий	шт	2	12,3	24,6

Продовження таблиці 3.2					
1	2	3	4	5	6
14	Перехід квадрат-круг 360×360*d320 нержавіючий	шт	1	6,5	6,5
15	Перехід квадрат-круг 400×400*d320 нержавіючий	шт	1	7,5	7,5
16	Перехід круг-круг d420×d320	шт	1	6,8	6,8
17	Перехід круг-круг d265×d320	шт	1	5,3	5,3
18	Вставка гнучка ВЦП-122-43-3	шт	1	0,42	0,42
19	Вставка гнучка ВЦП-122-43-6	шт	1	0,78	0,78
20	Вставка гнучка ВГк-12,5	шт	2	5,8	11,6
21	Теплоізоляція із мінеральної вати	100м	46,13	45	251,32
22	Азбестовий шнур [ШАОН-1], загального призначення, діаметр до 8,0-10,0 мм	т	-	0,00017	0,00017
23	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	-	0,33	0,33
24	Мастика герметизуюча нетвердіюча "Гелан"	т	-	0,00269	0,00269
25	Електроди, діаметр 2 мм, марка Е42	т	-	0,00027	0,00027
26	Болти різного діаметра з гайками та шайбами	т	-	0,002	0,002
27	Стрічка сталева пакувальна, нормальної м'якості 0,7х (30-50) мм	т	-	0,00406	0,00406
28	Сталь листовая оцинкована, товщина 0,8мм	кг	-	2,6	2,6
29	Циліндри з мінеральної вати на синтетичному з'єднувачі	м ³	-	5,45	5,45
30	Ацетилен розчинений технічний, марка А	т	-	0,0117	0,0117
31	Кисень технічний газоподібний	м ³	-	8	8
32	Мило тверде господарське 72%	шт	1	0,5	0,5
33	Азбестовий картон [КАОН-1], загального призначення товщиною до 2 мм	т	-	0,004	0,004
34	Білила густотерті цинкові МА-011-1	т	-	0,00008	0,00008
35	Оліфа натуральна	кг	-	0,02	0,02
36	Прокладки гумові [пластина технічна пресована]	кг	-	0,36	0,36
ВСЬОГО, кг			6619,365 ≈ 6620		

Обладнання, матеріали, деталі та апарати, необхідні для встановлення заво-зяться централізовано на автомашині "Mercedes-Benz Sprinter 313". Характеристики автомашини подані в таблиці 3.3 [25] .

Для піднімання обладнання при монтажі ТА потрібно застосувати колісний автокран JCB 540-140, характеристики автокрана наведено в таблиці 3.4 [26].

Для зварювальних робіт при монтажі планується використати зварювальний апарат типу Tesla Weld TIG 302. Характеристики Tesla Weld TIG 302 вказані в таб-лиці 3.5 [27].

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики машини "Mercedes-Benz Sprinter 313"

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Витрата палива	л/100 км	16,2
Вантажна висота	мм	1365
Вантажопідйомність	кг	до 1590
Діаметр розвороту	м	12,3
Максимальна довжина заванта-ження	мм	4300
Площа завантаження	м ²	5,8
Маса	т	3,25

Таблиця 3.4 – Характеристики колісного автокрана JCB 540-140

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Висота підйому стріли	м	12
Вантажопідйомність	т	4
Розміри автокрана в транспорт-ному положенні		
висота	м	2,5
довжина		6,3
ширина		2,2
Маса загальна	т	5,4

Таблиця 3.5 – Характеристики апарата типу Tesla Weld TIG 302

Величина	Одиниця виміру	Значення
Номінальний зварювальний струм	А	32
Номінальна напруга мережі	В	190-240
Споживана потужність	кВт	7
Діаметр зварювального дроту	мм	0,8
Маса загальна	кг	4,8
Габарити	мм	250x350x430

Таблиця 3.6 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників [28]

Найменування	ДСТУ, марка	Кі- льк., шт.	Заг. маса, кг
Ніж монтерський		1	0,2
Набір ключів гайкових двосторонніх	ДСТУ ISO 1173 : 2015	1	3,9
Плоскогубці комбіновані	ДСТУ ГОСТ 2906 : 2008	1	1,6
Викрутки	ДСТУ ISO 1173 : 2015	4	0,31
Молоток слюсарний	ДСТУ ISO 1173 : 2015	1	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ДСТУ ISO 1173 : 2015	1	2,1
Молоток гумовий	ДСТУ ISO 1173 : 2015	1	1,9
Рулетка, 20 м	ДСТУ ISO 1173 : 2015	1	0,12
Рівень металевий	ДСТУ ISO 1173 : 2015	1	0,22
Ящик переносний для інструменту		1	3,2
Всього:			15,35

Загальна маса допоміжного обладнання складає 20,15 кг.

Висновки до Розділу 3.

Розрахунок газоочисного обладнання показав, що для очищення відпрацьованого теплоносія від залишків розпиленого молока придатний циклон Крейзеля. Для нормальної роботи газоочисного обладнання планується встановити вентилятор типу ВЦ 4-70, № 12,5, з електродвигунів АИР200М8 потужністю 22 кВт.

В розділі спроектовано і виконано розрахунок спірального теплообмінника потужністю 250 кВт для підігріву теплоносія в розпилювальній сушарці для сушіння молока.

Площа теплообміну складає 116 м².

Розміри теплообмінника: висота $h = 2000$ мм, діаметр 2500 мм.

Розраховано прохідні діаметри штуцерів, які склали: для відхідних газів 250 мм, для повітря 320 мм.

Маса теплообмінника 3368 кг.

Для зменшення теплових втрат розрахована також товщина теплової ізоляції з пінополістиролу, яка дорівнює 80 мм.

4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СУШАРКИ

4.1 Короткий опис математичної моделі

Математична модель розроблена для розрахунків процесу сушіння молока в розпилювальній сушильній установці А1ОР2Ч виробництва Калинівського машинобудівного заводу..

Математична модель складається з 26 лінійних і нелінійних рівнянь. Модель є статичною детермінованою, структурно-функціональною, відносно зміни параметрів – дискретною, відносно розмірності простору – одновимірною. Матмодель є оптимізаційною, критерієм оптимізації є визначення оптимальної температури теплоносія для забезпечення необхідної вологості матеріалу в кінці сушіння при заданій його тривалості.

Модель містить базові рівняння термодинаміки (рівняння нерозривності потоку, рівняння розрахунку параметрів сумішей, рівняння балансові, експериментальні та емпіричні залежності для визначення теплообміну) і спеціальні експериментальні емпіричні залежності.

4.2 Розрахунок параметрів сировини і теплоносія

Початкові дані

$$\tau = f(d_0, d_2, t_{m1}, t_{m2}, \mu_p, \mu_{cr}, M_r, M_p, \omega_1, \omega_2, D, C_p, C_{cr}, f, d_e, L, n,).$$

Всі дані використані в контрольному прикладі для розрахунку розпилювальної сушарки (Розділ 2), тому тут ми їх фізичний зміст не приводимо.

Середня температура висушуваного матеріалу, (°C)

$$\bar{t}_m = \frac{t_{m1} + t_{m2}}{2}. \quad (4.1)$$

Середній вологовміст повітря в сушарці, (кг/кг)

$$\bar{d} = \frac{d_0 + d_2}{2}. \quad (4.2)$$

Густина вологого відпрацьованого теплоносія, (кг/м³)

$$\rho_{cm} = \rho_c \cdot \frac{273}{T} \frac{1+d}{1 + \frac{M_r}{M_n} d}. \quad (4.3)$$

де ρ_{cr} – густина сухого теплоносія за нормальної температури;

d – вологовміст теплоносія;

M_r і M_n – молекулярні маси газу і пари.

Коефіцієнт динамічної в'язкості відпрацьованого теплоносія, (Па/с)

$$\mu_{cm} = \frac{1}{\frac{x}{\mu_n} + \frac{1-x}{\mu_{cr}}}. \quad (4.4)$$

де $x = d/(1+d)$;

μ_n, μ_{cr} – в'язкість водяної пари і сухого теплоносія.

Теплоємність суміші, (кДж/(кг·К))

$$C_{cm} = C_n \cdot x + C_{cr} \cdot (1-x). \quad (4.5)$$

де C_{cr}, C_n – теплоємність сухого теплоносія і пари;

Коефіцієнт теплопровідності суміші, (Вт/(м·К))

$$\lambda_{cm} = \frac{a \cdot \mu_{cm} \cdot C_{cm}}{k}. \quad (4.6)$$

де a – коефіцієнт атомності газів;

k – показник адіабати газу.

Коефіцієнт температуропровідності, (м²/с)

$$a_{\text{cm}} = \frac{\lambda_{\text{cm}}}{\rho_{\text{cm}} \cdot C_{\text{cm}}}. \quad (4.7)$$

Число Прандтля

$$\text{Pr}_{\text{cm}} = \frac{\mu_{\text{cm}}}{\rho_{\text{cm}} \cdot a_{\text{cm}}}. \quad (4.8)$$

Густина матеріалу, (кг/м³)

$$\rho_v = \frac{\rho_m}{(1 + \omega_2)}. \quad (4.9)$$

Густина матеріалу на вході, (кг/м³)

$$\rho_{m1} = \rho_v \cdot (1 + \omega_1). \quad (4.10)$$

Число Архімеда

$$\text{Ar} = \frac{\rho^* \cdot g \cdot d_e^3}{\nu_{\text{cm}}^2}. \quad (4.11)$$

Критичне число Рейнольдса

$$\text{Re} = 0,29 \cdot \left(\frac{\sum h}{D} \right)^{0,64} \cdot \left(\frac{D}{d_e} \right)^{1,3} \cdot \text{Ar}^{0,6}. \quad (4.12)$$

Швидкість витікання газу (критична), (м/с)

$$v_{\text{кр}} = \frac{\text{Re} \cdot \nu_{\text{cm}}}{h}. \quad (4.13)$$

Швидкість газу на вході в бункер, (м/с)

$$W_1 = 1,9 \cdot v_{\text{кр}}. \quad (4.14)$$

Ширина сушильної камери

$$b = \frac{G_{\text{cm}} \cdot (1 + d_0)}{W_1 \cdot \rho_{\text{cm}} \cdot \sum h}. \quad (4.15)$$

Концентрація дисперсної фази (масова), (кг/кг)

$$\theta = \frac{G_1 + G_2}{2 \cdot L}. \quad (4.16)$$

де $G_1 = M_1 \cdot (1 + \omega_1)$;
 $G_2 = M_1 \cdot (1 + \omega_2)$.

Кінетична енергія теплоносія при критичній швидкості витікання, (Вт)

$$E_{kp} = \frac{G_{cm} \cdot (1 + d_0) \cdot v_{kp}^2}{2}. \quad (4.17)$$

Утримуюча здатність камери (кг)

$$G_{kp} = A \cdot E_{kp} \cdot D^{-0,55} \cdot n^{0,15} \cdot 10^{-3}. \quad (4.18)$$

Утримуюча здатність камери за робочої швидкості теплоносія, (кг)

$$G_p = G_{kp} \cdot \left[1 + 0,9 \cdot \left(\frac{v_{kp}}{W_1} \right)^{2,5} \cdot \theta^{0,55 \cdot \left(\frac{v_{kp}}{W_1} \right)} \right]. \quad (4.19)$$

Тривалість знаходження матеріалу в сушарці, (с)

$$\tau = \frac{2G_p}{G_1 + G_2}. \quad (4.20)$$

Число Рейнольдса в тангенціальному каналі визначається за (4.12)

Число Рейнольдса за швидкістю теплоносія в сушарці

$$Re_c = \frac{W_1 \cdot d_e}{v_{cm}}. \quad (4.21)$$

Число Нуссельта для міжфазного теплообміну

$$Nu = 0,047 Ar^{-0,1} \cdot \left(\frac{d_e}{D} \right)^{0,33} \cdot \left(\frac{\sum h}{D} \right)^{0,15} \cdot Re \cdot \left(\frac{G_p}{G_{kp}} \right)^{-0,6}. \quad (4.22)$$

Міжфазний коефіцієнт тепловіддачі, (Вт/(м²·К))

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{cm}}}{d_e}. \quad (4.23)$$

Питома поверхня розпиленої фази, ($1/\text{m}^2$)

$$S = \frac{6 \cdot f}{d_e}. \quad (4.24)$$

Питома витрата теплоносія, (кг/кг)

$$g_{\text{cm}} = \frac{G_{\text{cm}}}{G_m}. \quad (4.25)$$

Тривалість сушіння матеріалу, (с)

$$\tau = \frac{g_{\text{cm}} \cdot \rho_v \cdot C_{\text{cm}} \cdot 10^3 \cdot (t_1 - t_2)}{\alpha \cdot S \cdot (t_2 - t_{m2})}. \quad (4.26)$$

Для надійного забезпечення необхідної кінцевої вологості тривалість сушіння матеріалу має бути меншою ніж тривалість перебування матеріалу в башті сушарки ($\tau_c < \tau$).

4.3 Результати числового експерименту і їх обговорення

Математична модель роботи сушарки А1ОР2Ч складена в прикладному розрахунковому пакеті Mathcad і представлена в Додатку Д. Тут ми представляємо лише результати числового експерименту. На Рис. 4.1 представлено результати графічної оптимізації вибору температури теплоносія для сушіння молока в розпилювальній сушарці.

З графіка видно, що оптимальною є температура 125-128 °С. Якщо температура буде меншою, час сушіння значно зростає. Перевищення температури може призвести до коагуляції білків і непридатності висушеного продукту до споживання.

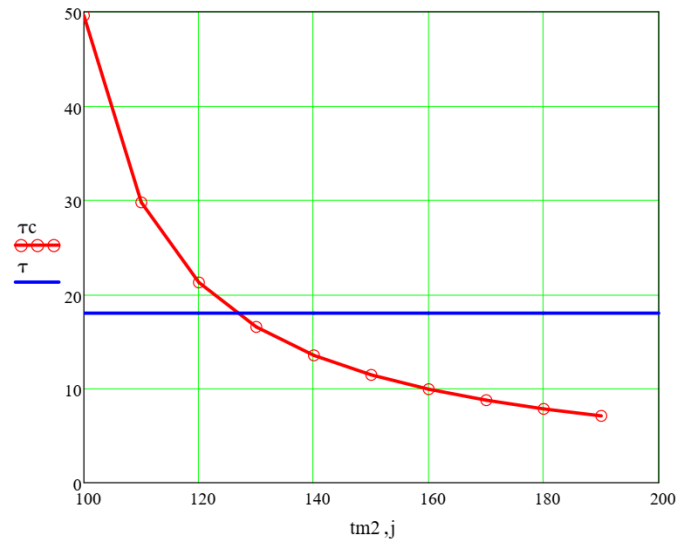


Рисунок 4.1 – Визначення оптимальної температури теплоносія для сушіння молочних продуктів в розпилювальній сушарці

На рис. 4.2 представлено вплив питомої витрати повітря на час перебування часточок в сушильній камері. Збільшення питомої витрати повітря більше 100 кг/кг не впливає на тривалість перебування, але значно підвищує теплові витрати в сушарці.

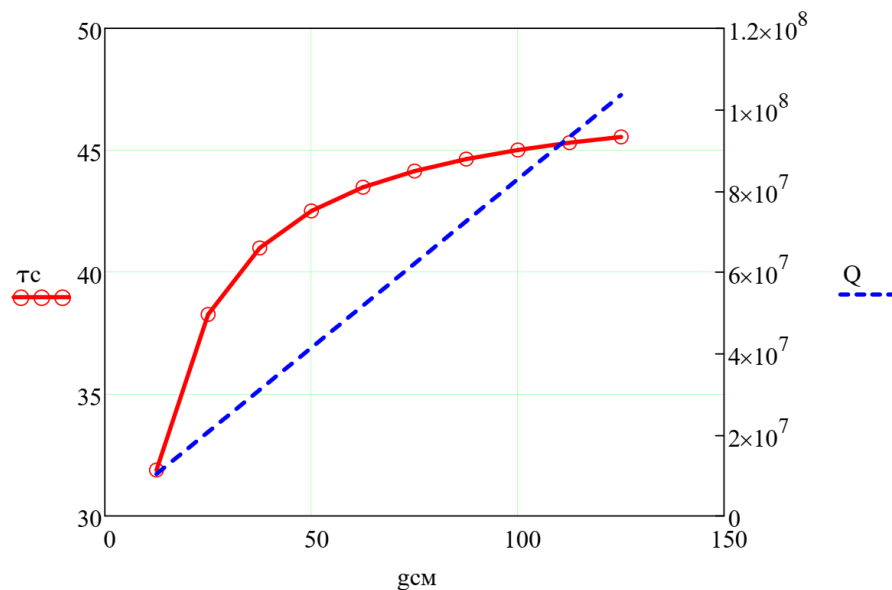


Рисунок 4.2 – Вплив питомої витрати повітря на час перебування часточок в сушильній камері

На Рис.4.3 Показаний зв'язок між терміном перебування часточок в робочій камері, витратою повітря в камері і температурою розігрівання висушеного матеріалу. Оптимум знаходиться при температурі 125-128 °С, при цьому тривалість сушіння не перевищує 45 секунд.

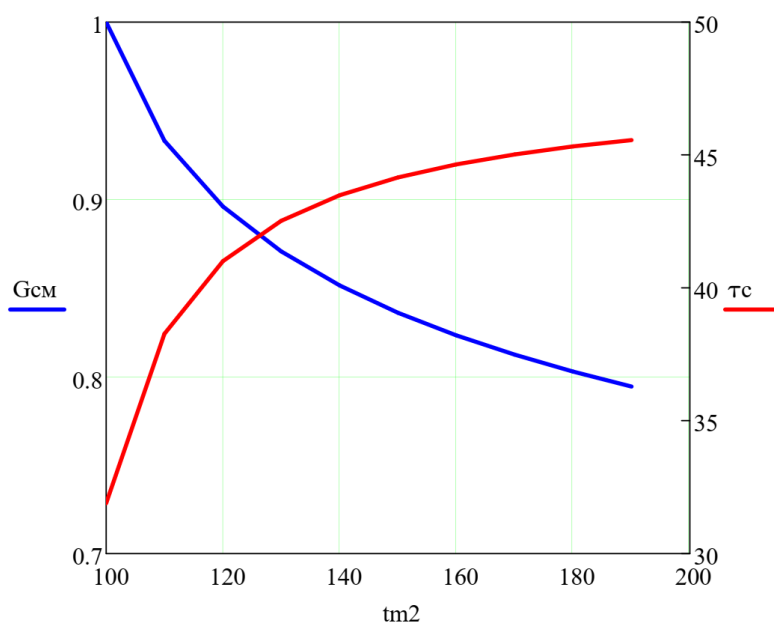


Рисунок 4.3 – Зв'язок між терміном перебування часточок в робочій камері, витратою повітря в камері і температурою розігрівання висушеного матеріалу

Залежність утримуючої здатності камери при робочій швидкості теплоносія від зміни діаметра башти показано на Рис. 4.4. При розрахунках сушарки ми прийняли діаметр башти 4 метри, що, як видно з графіка, знаходиться в оптимальному відношенні як до утримуючої здатності камери, так і до терміну перебування часточок в камері.

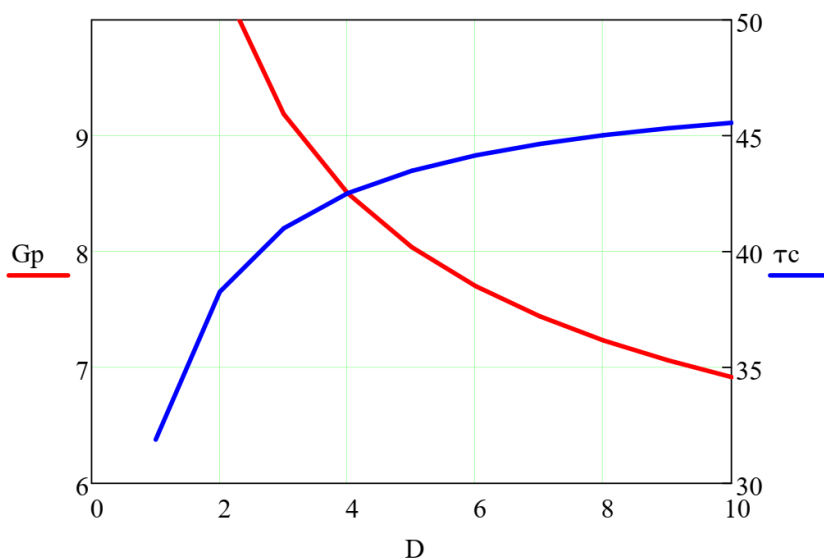


Рисунок 4.4. – Залежність утримуючої здатності камери при робочій швидкості теплоносія від зміни діаметра башти

Висновки до Розділу 4.

З графічних залежностей видно, що оптимальна температура теплоносія має складати 125-127 °С. При цьому краплі молока знаходяться при температурі «морого» термометра, яка для заданих умов складає 48 °С, тому руйнування та коагуляція білків молока не відбувається. Тривалість перебування часточки молока в башті сушарки не перевищує 45 с, при цьому оптимальний діаметр сушильної башти для сушарки А1ОР2Ч складає 4 метри.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз умов праці

При розробці бакалаврської роботи на тему: «Модернізація розпилювальної сушильної установки А1-ОР2Ч» розглядаються умови праці при яких на працівників можуть діяти шкідливі і небезпечні фактори фізичної, психофізіологічної груп [31,32].

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: підвищена або понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму та вібрації на робочому місці; підвищена або понижена вологість повітря; відсутність достатньої кількості природного світла; недостатнє освітлення робочої зони; рухомі машини і механізми, рухомі частини виробничого обладнання; підвищена температура поверхонь обладнання і матеріалів.

Хімічні шкідливі і небезпечні виробничі фактори, що проникають в організм людини через органи дихання, шкіряні покриви та слизисту оболонку: токсичні; подразнюючі.

Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- а) фізичні перевантаження: статичні; динамічні;
- б) нервово-психічні перевантаження;
- в) монотонність праці.

5.2 Технічні рішення з безпечного проведення досліджень

5.2.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Загальні вимоги.

Оператором розпилювальної сушарки має бути особа від 18 років, котра пройшла всі необхідні інструктажі (первинний та вторинний) та навчана правилам безпечної роботи.

Правила внутрішнього розпорядку підприємства, вимоги стосовно безпеки

викладені в інструкції мають виконуватися працівниками.

За недотримання вимог інструкції робітник несе відповідальність відповідно з чинним на даний момент в країні законодавством.

Вимоги безпеки перед початком роботи. До початку роботи з розпилювальною сушаркою працівник повинен:

- одягнути виданий спецодяг;
- прослухати інструктаж від керівника відповідно до специфіки заданої ним роботи;
- перед початком виконання поставленого завдання працівнику необхідно:
 - а) підготувати всі затребовані засоби особистого захисту;
 - б) перевірити відведене йому робоче місце і територію навколо нього на відповідність всім зазначеним в інструкції вимогам безпеки;
 - в) перевірити роботоздатність та правильність роботи всіх огорожень, блокування, а також супроводжуючих звукових сигналів;
 - г) перевірити на справність подані вимикачі;
 - д) засвідчитися, що освітлення відповідає нормам стандарту робочого місця.

Вимоги безпеки під час роботи. Під час виконання свого завдання оператор розпилювальної сушарки мусить:

- виконувати роботу згідно з нормами технологічної інструкції;
- користуватися лише інструментами та інвентарем в робочому стані;
- використовувати захисту уніформу;
- не дозволяти перебування осіб, які не мають відношення до проведення процесу;
- контролювати справність пристроїв безпеки;
- тримати дверцята силової шафи управління закритими;
- перед проведенням чищення та ремонтом, огляду деталей виключати обладнання;
- прибирати у разі витікання небезпечні речовини зі своєї ділянки;
- дотримуватися правил електробезпеки;
- тримати своє робоче місце під наглядом;
- контролювати наявність огорожувальних, захисних решіток на частинах обладнання, які не є статичними;

- до кінця роботи затору не наближатися до установки. Обладнання протягом тривалого часу після припинення роботи, ще може лишатися гарячим.
- при зупинці обладнання на довготривалий період перекрити наявні трубопроводи;
- перед початком роботи обладнання оглянути надійність кріплення деталей.

При роботі конвеєра працівнику необхідно:

- попередити звуковим сигналом про початок запуску обладнання;
- контролювати рівень насипу порошку в сушарці та бункерах;

Під час роботи заборонено ремонтувати, підкручувати та затягувати деталі обладнання;

Непередбачувані обставини. У випадках:

- збою електрики;
- поломки обладнання;
- виявлення посторонніх запахів;

Працівник сушильної установки повинен:

- зупинити обладнання;
- повідомити чергового слюсаря;
- сповістити наявному майстру;
- залишити на пульті запуску попереджувальну записку;

При особистому травмуванні працівник повідомляє відповідальному майстру та прямує до медпункту. При травмуванні іншого працівника, надається перша невідкладна медична допомога та повідомляється майстру, а працівник відправляється до медпункту. Якщо це є можливим, то до прибуття відповідних, уповноважених працівників місце травмування лишається недоторканим.

5.2.2 Електробезпека

Існує небезпека ураження, так як експлуатується обладнання, з використанням електричного струму високої напруги. В даному приміщенні наявні такі небезпечні фактори: наявність струмопровідних основ; можливість одночасного дотику людини до металоконструкції які мають з'єднання з землею будівель,

технологічних апаратів, допоміжних механізмів з одного боку і до металічних корпусів електрообладнання з іншого.

Електрообладнання живиться від трифазних чотири-провідних мереж з заземленою нейтраллю споживчого трансформатора напругою до 1000 В (380/220В).

Виходячи з вище перелічених факторів це приміщення можна класифікувати як приміщення особливо небезпечні. Тому для захисту обслуговуючого персоналу вибираємо такі спосіб захисту, як занулення та захисне заземлення.

На випадок обриву нульовий провід повторно заземлюється через кожних 2 метрів та перед вводом в будівлю.

5.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.3.1 Мікроклімат

Оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати значенням вказаним в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура					Відносна вологість %		Швидкість руху повітря м/с	
		Оптимальна	Допустима верхня		Допустима нижня		Оптимальна не більше	Допустима на пост. роб. місцях не більше	Оптимальна не більше	Допустима на пост. роб. місцях не більше
			Постійне робоче місце	Непостійне робоче місце	Постійне робоче місце	Непостійне робоче місце				
Хол.	ІІб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	0,4
Тепл.	ІІб	20-22	27	29	16	15	40-60	70	0,3	0,2-0,5

Інтенсивність теплового випромінювання, не повинна перевищувати 100 Вт/м при опроміненні не більше 25% поверхні тіла.

Перепад температури повітря по висоті робочої зони при всіх категоріях робіт допускається до 3°C.

5.3.2 Склад повітря робочої зони

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони, окисів металу та пилу, не повинен перевищувати граничне допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляції, для контролю за якістю виробничого осередку і вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони підлягає періодичному контролю, для запобігання можливості перевищення граничне допустимих концентрацій.

5.3.3 Освітлення

Характеристика зорових робіт – малої точності (розміри об'єкт розпізнавання 0.5-1 мм);

- розряд зорових робіт - III;
- підрозряд зорових робіт - B;
- контраст об'єкта розпізнавання з фоном - середній;
- фон - середній.

Природне освітлення (КПО, e_H^{III} %);

- при боковому освітленні e_H^{III} – 2.5%.

Суміщене освітлення

- при боковому освітленні e_H^{III} – 1.5%.

При виконанні робіт IIIв розряду слід приймати систему комбінованого освітлення $E=2000$ лк.

Освітлення робочої поверхні, що здійснюється світильниками загального освітлення в системі комбінованого повинно складати 10% від тієї, що нормується для комбінованого освітлення при тих джерелах світла, що використовується для місцевого освітлення (лампи розжарювання).

При цьому найменші і найбільші значення освітленості від світла загального освітлення в системі комбінованого приймаємо для люмінесцентних ламп:

- найбільша 500 лм;
- найменша 150 лм.

Для загального освітлення слід приймати мінімальну нерівномірність освітленості в зоні розташування робочих місць, при цьому відношення максимальної освітленості до мінімальної не повинна перевищувати для робіт II розряду при люмінесцентних лампах -1.5. Для загального освітлення в системі комбінованого слід передбачити газорозрядні лампи, незалежно від типу джерела світла місцевого освітлення.

Освітлення проходів і дільниць, де роботи не виконуються повинно складати - 25% освітлення, що створюється світильниками загального освітлення на робочому місці, але не менше 75 лк.

Показник засліпленості для світильників загального освітлення в приміщеннях не повинен перевищувати – 20.

Враховуючи розміри приміщення, кількість світильників та довжину кожного світильника, розміщуємо світильники вздовж приміщення в два ряди.

5.3.4 Виробничий шум та вібрації

Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях на територіях підприємств представлені в таблиці 5.2.

В якості акустичних засобів захисту від шуму застосовуються:

- звукопоглинаючі обшивки на редукторах приводів – корпус коробки швидкостей;
- звукоізоляція каналів витяжної вентиляції багатошаровими перегородками,
- звукоізолюючі кожухи, коли ці засоби виявляються не ефективними, потрібно використовувати засоби індивідуального захисту від шуму: шлеми, беруші.

Санітарні норми одночислових показників вібраційного навантаження будівельника для довговічності зміни вісім годин приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.2 - Нормування значень рівнів шуму

Робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Робота, що потребує сконцентрування і уваги	107	99	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблиця 5.3 – Категорія вібрації по санітарним нормам і критерії оцінки

Категорія вібраційне санітарних норм і критерії оцінки	Характеристика умов праці	Прилад джерел вібрації
3 тип “а” межа зниження продуктивності праці	Технологічна вібрація, яка діє на операторів стаціонарних машин і обладнання	Верстати, електричне обладнання (машини), вентилятори

Таблиця 5.4 – Санітарні норми одночислових показників вібраційного навантаження на будівельника для зміни в 8 год.

Вид вібрації	Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативне коректування по частоті і еквівалент коректування значень			
			Віброприскорення, м/с ²	Рівень віброприскорення, дБ	Віброшвидкість, м/с	Рівень віброшвидкості, дБ
Локальна	—	X _л , Y _л , Z _л	2.0	126	2.0	112
Загальна	3 тип «а»	Z _о , Y _о , X _о .	0	100	0.2	92

Якщо вище наведені норми не забезпечуються то застосовують методи колективного захисту, що знижують параметри вібрації у напрямку її поширення.

5.4 Технічні рішення з пожежної безпеки

Виробництво на даній ділянці відноситься до категорії “Д”, яка характеризується наявністю тільки негорючих матеріалів і речовин в холодному стані.

По ступеню вогнестійкості дана дільниця відноситься до II-го ступеню вогнестійкості, в якому приміщення з несучими і огорожуючими конструкціями виконано з природного або штучного матеріалу – бетону чи залізобетону.

Таблиця 5.5 – Мінімальні границі вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості	Мінімальні границі вогнестійкості, год(над ризикою) і максимальні границі розповсюдження вогню по них, см								
	Стіни				Колони	Східцеві площадки	Плити і настили	Елементи покриття	
	Несучі східцеві клітки	Самонесучі	Внутрішні та несучі	Навантажені і ненесучі				Плити і настили	Балки, ферми, рами
II	2/0	1/0	0,25/0	0,25/0	2/0	1/0	0,75/0	0,25/0	0,25/0

Таблиця 5.6 – Ступінь вогнестійкості, допустиме число поверхів і площа поверху в відсіку

Категорія будівлі	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсотку м ²		
			Одноповерхових	Багатоповерхових	
				2 поверхи	3 і більше
Д	10	II	Не обмежується		

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях споруд, через евакуаційні виходи. Кількість евакуаційних виходів з будівель слід приймати не менше двох.

Таблиця 5.7 – Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до виходу з приміщення

Категорія приміщення	Об'єм приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Відстань, (м) при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м ²		
			До 1	Більше 1 до 3	Більше 3 до 5
Д	Незалежно від об'єму	III	не обмежується		

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця приміщення до евакуаційного виходу із будівлі для даного приміщення не обмежується. Ширина виходу із приміщення: через двері 1м, через розсувні ворота - 2.5 м. Передбачений пожежний щит з вогнегасником, сокирою, лопатою, відром, біля щита ящик з піском.

ВИСНОВКИ

Як правило, розпилювальні сушарки, які працюють на молокозаводах для сушіння молока є застарілими як технічно так і морально і потребують модернізації як окремих складових, так і самої сушарки в цілому.

Аналіз варіантів показує, що найбільш перспективним способом модернізації одноступеневої сушарки А1ОР2Ч є установка пневмотранспорту для готового продукту і інстантайзера.

В роботі розраховано конвективну розпилювальну сушарку А1-ОР2Ч, побудовано теоретичний та дійсний процеси в діаграмі Рамзіна, визначено теплофізичні параметри процесу сушіння. Загальна витрата теплоти $Q = 401,5$ (кВт), загальна витрата вологого повітря $L = 2,75$ (кг/с).

Коефіцієнт корисної дії сушарки 51%.

Спроектовано і виконано розрахунок спірального теплообмінника потужністю 250 кВт для підігріву теплоносія в розпилювальній сушарці А1ОР2Ч.

Площа теплообміну складає 116 м^2 . Розміри теплообмінника: висота $h = 2000$ мм, діаметр 2500 мм. Розраховано прохідні діаметри штуцерів, які склали: для відхідних газів 250 мм, для повітря 320 мм. Маса теплообмінника 3368 кг.

Розрахунок газоочисного обладнання показав, що для очищення відпрацьованого теплоносія від залишків розпиленого молока придатний циклон Крейзеля діаметром 1 метр.

Для зменшення теплових втрат розрахована також товщина теплової ізоляції з пінополістиролу, яка дорівнює 80 мм.

Числовий експеримент на складеній математичній моделі показав, що оптимальна температура теплоносія має складати 125-127 °С. При цьому краплі молока знаходяться при температурі «морого» термометра, яка для заданих умов складає 48 °С, тому руйнування та коагуляція білків молока не відбувається. Тривалість перебування часточки молока в башті сушарки не повинна перевищувати 45 с, при цьому оптимальний діаметр сушильної башти для сушарки А1ОР2Ч складає 4 метри.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Теоретичні основи сушіння молока. URL : http://www.ni.biz.ua/2/2_9/2_98769_teoricheskie-osnovi-sushki.html (Дата звернення 03.06.23р).
2. Подпряттов Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М., Хилевич В. С. Зберігання і переробка продукції рослинництва: навч. посібн. Київ: Мета, 2002. 495 с.
3. Власенко В.В., Новгородська Н.В. Характеристика сухого молока, виробленого на сушарках із застосуванням флюїдного дна //Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького, том 14, №2, Частина 3, 2012. С 200-204.
4. Порівняння розпилювальних сушарок. URL : https://www.griffinmachinery.com/uk/розпилювальні_сушарки . (Дата звернення 03.06.23р).
5. Автоматизація виробничих процесів. Дифузійні процеси (обладнання для сушіння). Навчально-методичний посібник до практичних робіт для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» галузей знань 15 «Автоматизація та приладобудування» та 18 «Виробництво та технології» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / [упоряд. В.В. Тичков, В.Я. Гальченко, Р.В. Трембовецька, З.В. Бондарчук]; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2018. 179 с.
6. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред.. проф. І. Ф. Малєжика. Київ: НУХТ, 2003. 400с.
7. McLean K. A. Drying and storing combinable crops// Farming Press Ltd. London. 1980. P. 28.
8. Розпилювальна сушильна машина. URL : https://antiteck.com/uk/розпилювальна_сушильна_машина_2/. (Дата звернення 03.05.23р).
9. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малєжика. Київ: НУХТ, 2012. 543 с.
- 10.Осокіна Н. М., Гайдай Г. С. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Умань: 2005. 120 с.

11. Порівняння методів та переваг та недоліків розпилювальної сушарки. URL : <https://ua.pharma-packing-machine.com/news/comparison-of-methods-and-advantages-and-disad-37877510.html> / (Дата звернення 15.05.2023р.)
12. Сушарки розпилювальні. URL : <https://perryvidex.eu/category/dryers/spray-dryer/> (Дата звернення 12.05.2023р.)
13. Машини та обладнання переробних виробництв. За редакцією проф. Дацишина О.В. Київ: Вища освіта. 2005. 319 с.
14. Методичні вказівки та завдання до виконання курсового проекту з дисципліни «Теплотехнологічні процеси і установки» для студентів напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» / В.В. Куба, В.В. Середа. Рівне: НУВГП, 2011р. 43 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/673/>. (Дата звернення 02.05.2023) .
15. Бібліотека визначення фізичних властивостей речовин CoolProp. URL: <http://www.coolprop.org/>. (Дата звернення 02.05.2023) .
16. Мінаковський В. М. Теплотехнологічні процеси та установки, посібн. : Мін-во освіти і науки України, Київ: НТУУ «КПІ», 2009. 128 с.
17. НБУ прогнозує подорожчання палива у 2023 році. URL : https://news.infocar.ua/nbu_prohnozue_podorozhchannya_palyva_u_2023_rotsi_159017.html. (Дата звернення 02.06.2023.)
18. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2007. 76 с.
19. Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проекту з дисциплін спеціалізації для студентів спеціальності 7.090220, 8.090220 «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» / Укл.: А.П. Врагов, Л.Г. Кірний. Суми: Вид-во СумДУ, 2003, 37 с.
20. Драганов Б. Х. Теплотехніка : підр. для студентів ВТНЗ. Київ, Інкос, 2005. 504 с.
21. Фізичні властивості води. Підручник для студентів онлайн. URL : https://stud.com.ua/177659/ekologiya/fizichni_vlastivosti_vodi . (Дата звернення 22.05.2023).
22. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки тепломасообмінних апаратів : навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2006. 120 с.

23. Як розрахувати пластинчастий теплообмінник. URL : <https://termoprom.com.ua/uk/chasto-zadavaemye-voprosy/kak-rasschitat-plastinchatyj-teploobmennik.php> . (Дата звернення 23.05.2023).
24. Wiesław Pudlik. Wymiana i wymienniki ciepła. Gdansk : 2012, 336 s.
25. Ціноутворення та конкуренція на ринку енергоносіїв. URL : http://www.ier.com.ua/ua/Ukraine_EU_project/materials/AA_title_4/energy_trading/pricing . (дата звернення 02.06.2021).
26. Кінаш Р. І., Жуковський С. С. Технологія заготівельних та спеціальних монтажних робіт. Львів : Видавництво науково-технічної літератури, 1999. 448 с.
27. Каталог вантажних автомобілів ГАЗ. URL: <http://avtomarket.ru/catalog/>. Дата звертання 28.11. 2022 р.
28. Каталог будівельних машин ЗіЛ. URL: <http://powertools.co.nz>. Дата звертання 28.11.2022 р.
29. Каталог зварювальних апаратів JASIC TIG. URL: <http://domsvarki.lg.ua>. Дата звертання 24.11.2022 р.
30. Вентилятори відцентрові. URL : http://www.venture.pl/wentylatory/wentylatory-promieniowe/hbb/450_71_400t/ / Дата звертання 23.11. 2022 р.
31. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/-laborprot/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074detail.html (Дата звернення 28.05.2023).
32. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом- [Електронний ресурс] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=65395 (Дата звернення 28.05.2023).
33. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 (Дата звернення 28.05.2023).

34. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html> (Дата звернення 28.05.2023).
35. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (Дата звернення 28.05.2023).
36. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php (Дата звернення 28.05.2023).
37. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - URL: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html> (Дата звернення 01.06.2023).
38. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги- [Електронний ресурс] URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf (Дата звернення 01.06.2023).
39. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек [Електронний ресурс] - URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759 (Дата звернення 01.06.2023).
40. Наказ міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text> (Дата звернення 01.06.2023).
41. ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон-буд України, 2013. 149 с.
42. ДСН3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. (Дата звернення 01.06.2023).

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Модернізація розпилувальної сушильної установки А1ОР2Ч

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

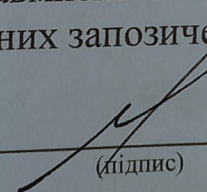
Підрозділ кафедра теплоенергетики, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

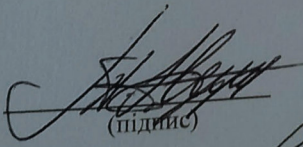
Оригінальність 83,2 Схожість 16,8

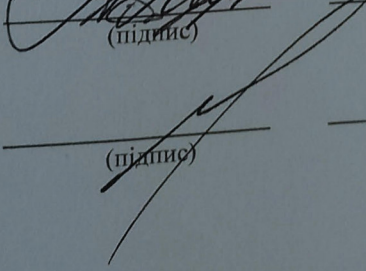
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

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

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  (підпис) Ткач Н.О. (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  (підпис) Співак О.Ю. (прізвище, ініціали)

(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ТЕ

к.т.н., доц.

Д.В. Степанов

Підпис

“ 03 ” 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на бакалаврську дипломну роботу:

МОДЕРНІЗАЦІЯ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ
СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ А1ОР2Ч

08-15.БДР.010.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доц.

Співак О.Ю.

Виконавець: студент гр. ТЕ – 21мс

Ткач Н.О.

Вінниця 2023

Додаток Б
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ТЕ

к.т.н., доц.

_____ Д.В. Степанов
Підпис

“ _____ ” _____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на бакалаврську дипломну роботу:

МОДЕРНІЗАЦІЯ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ
СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ А1ОР2Ч

08-15.БДР.010.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи: к.т.н., доц.

_____ Співак О.Ю.

Виконавець: студент гр. ТЕ – 21мс

_____ Ткач Н.О.

Вінниця 2023

1 Тематика розробки та галузь її застосування

Розробка стосується промислової теплоенергетики і присвячена питанню енергозбереження і модернізації розпилювальної сушарки для підвищення екологічної чистоти готового продукту так і навколишнього середовища.

2 Мета і призначення розробки

Модернізація розпилювальної сушарки з встановленням спірального теплоомінника для зниження її 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 № 65 від 09.03.2021 р., документація на розпилювальну сушарку А1ОР2Ч, розробки і патентна документація 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 Встановлення нового, більш ефективного теплообмінного обладнання. Визначення температури повітря на всіх етапах підігріву та сушіння, витрати повітря для основного технологічного процесу та для рециркуляції. Схематичне зображення сушарки на плакатах, креслення додаткового обладнання. Дотримання стандартів щодо виготовлення готової продукції та її якості.

4.2 Основні технічні показники:

- кількість випаруваної вологи $W = 300$ кг/год;
- температура теплоносія на вході в калорифер $t_1 = 18^\circ\text{C}$;
- на вході в сушильний бункер $t_2 = 175^\circ\text{C}$;
- вологість сировини початкова 51%;
- вологість сировини кінцева 4%.

5 Стадії і етапи роботи

5.1 Аналіз літературних та патентних джерел

5.2 Багатоваріантний аналіз

5.3 Розрахунок розпилювальної сушарки А1ОР2Ч

5.4 Розрахунок джерела теплоти для підігріву сушильного агента

5.5 Розрахунок очищувача сушильного агента

5.6 Розробка технології монтажу додаткового обладнання

5.6 Розробка математичної моделі сушарки

5.7 Охорона праці та безпека життєдіяльності

6 Перелік графічного матеріалу:

- розпилювальна сушарка А1ОР2Ч;
- сушильна башта сушарки;
- схема теплової сушарки А1ОР2Ч;
- план монтажу теплообмінника;
- схема монтажна аксонометрична.

7 Порядок контролю та прийняття бакалаврської роботи

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

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 РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ
СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ А1ОР2Ч

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
АЗ			08-15.БДР.010.01.00.000СК	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	08-15.БДР.010.01.01.000	Башня	1	
		2	08-15.БДР.010.01.02.000	Циклон грубого очищення (ГО)	1	
		3	08-15.БДР.010.01.03.000	Фільтр	1	
		4	08-15.БДР.010.01.04.000	Блок форсунок	1	
		5	08-15.БДР.010.01.05.000	Плунжерний насос	1	
		6	08-15.БДР.010.01.06.000	Повітроочисник	1	
		7	08-15.БДР.010.01.07.000	Бункер	1	
		8	08-15.БДР.010.01.08.000	Вивантажувач циклона ТО	1	
		9	08-15.БДР.010.01.09.000	Сходи	1	
		10	08-15.БДР.010.01.10.000	Вивантажувач циклона ГО	1	
		11	08-15.БДР.010.01.11.000	Розтруб	1	
		12	08-15.БДР.010.01.12.000	Вентилятор нагнітальний	1	
		13	08-15.БДР.010.01.13.000	Циклон тонкого очищення (ТО)	1	
		14	08-15.БДР.010.01.14.000	Шторка	1	
		15	08-15.БДР.010.01.15.000	Труба витяжна	1	
		16	08-15.БДР.010.01.16.000	Вентилятор витяжний	1	
		17	08-15.БДР.010.01.17.000	Насос подачі молока	1	
		18	08-15.БДР.010.01.18.000	Стойки опорні	4	

08-15.БДР.010.01.00.000

Изм	Лист	Недокум.	Подп.	Дата
Разраб.		Ткач Н.О.		
Пров.		Співак О.Ю.		
Реценз.		Попович М.М.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

Сушарка розпилювальна
А1ОР2Ч

Лит.	Лист	Листов
		2

ТЕ-21мс

08-15.БДР.010.01.00.000СК

Перв. примен.

Справ. №

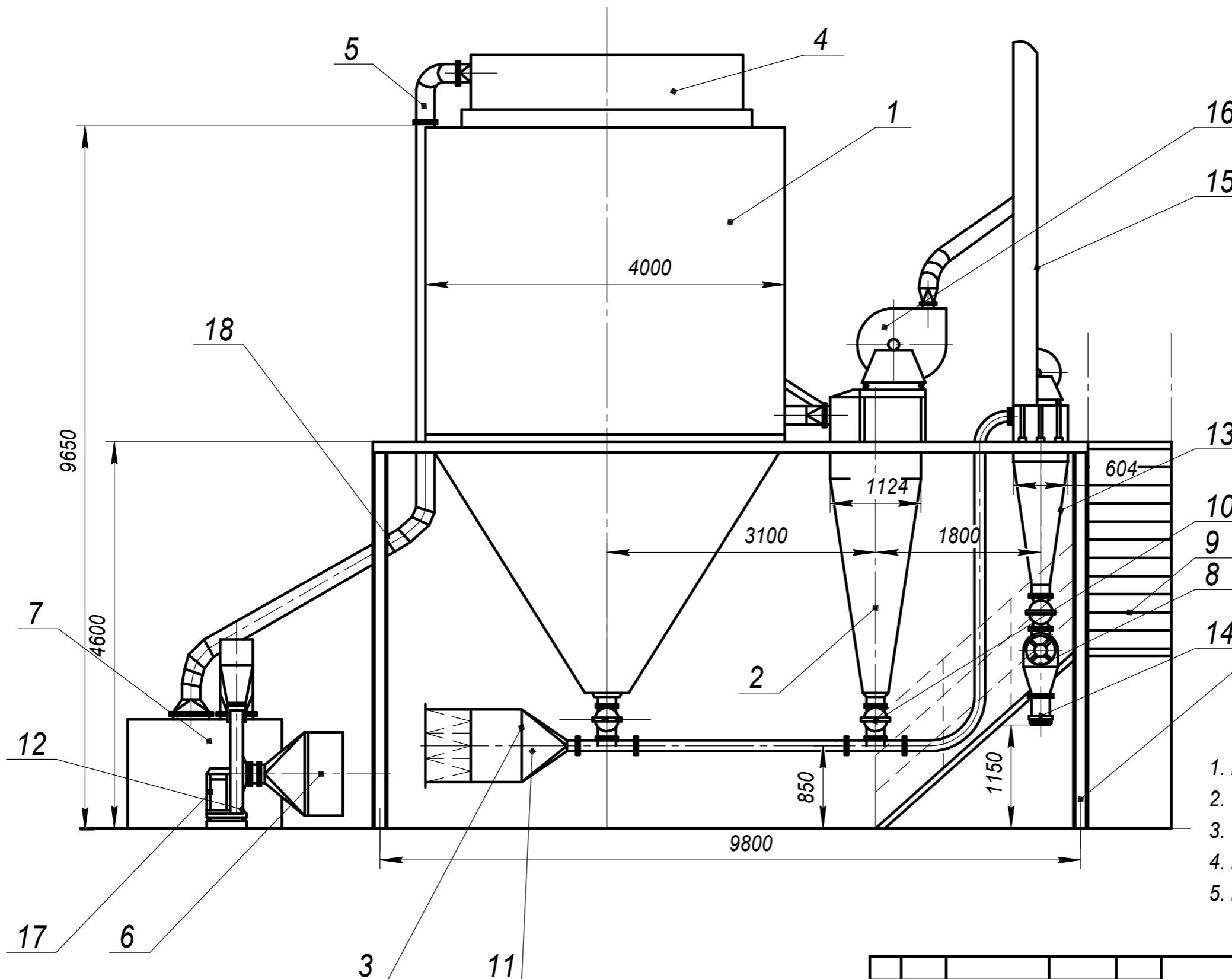
Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



Технічні характеристики

- 1. Видатність за випаруваною вологою кг/год 300
- 2. Температура сушильного агента °С 175
- 3. Температура продукта на виході °С 82-96
- 4. Початковий вміст сухих речовин % 49-53
- 5. Кінцевий вміст сухих речовин % 96

				08-15.БДР.010.01.00.000СК			
				Сушарка розпилювальна А1ОР2Ч			
				Складальне креслення			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Ткач Н.О.						10:1
Пров.	Співак О.Ю.						
Т.контр.	Співак О.Ю.				Лист	Листов	1
Реценз.	Попович М.М.				ТЕ-21МС		
Н.контр.	Співак О.Ю.						
Утв.	Степанов Д.В.						

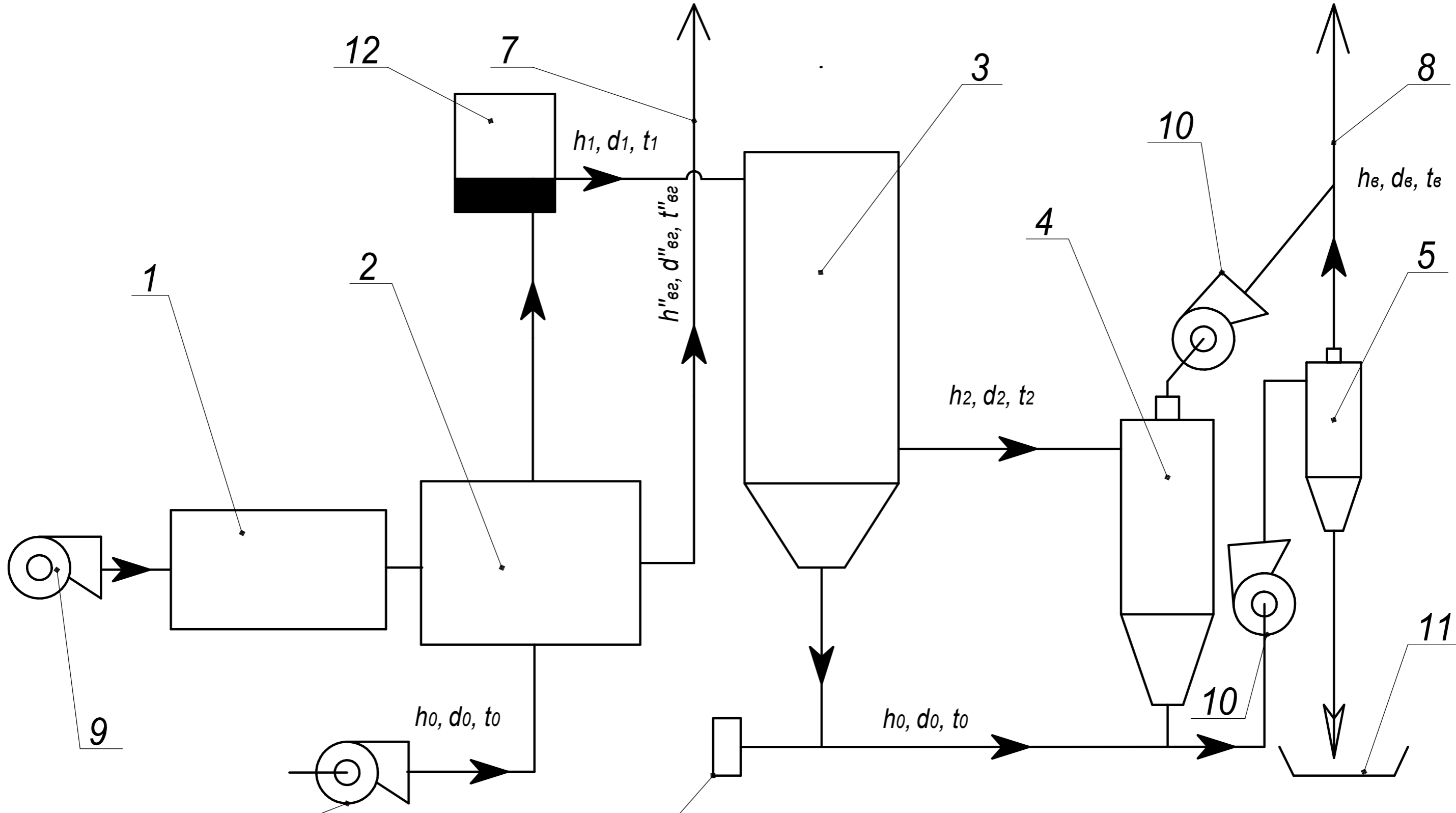
Копировал

Формат А3

Поз. обзначення	Наименование				Кол.	Примечание		
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.			Дата	
1	Топка				1			
2	Спіральний теплообмінник				1			
3	Башня				1			
4	Циклон грубої очистки				1			
5	Циклон тонкої очистки				1			
6	Фільтр				1			
7	Витяжна труба 1				1			
8	Витяжна труба 2				1			
9	Вентилятори ВЦ-4-70 №12,5				2			
10	Вентилятори ВЦП №6,3				2			
11	Збірник готового продукту				1			
12	Дозатор сировини				1			
08-15.БДР.010.02.00.000								
Ине. № подл.	Разраб.	Ткач Н.О.			Схема теплова функціональна	Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Співак О.Ю.						1
	Реценз	Попович М.М.				TE-21мс		
	Н.контр.	Співак О.Ю.						
	Утв.	Стеланов Д.В.						

Инев. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инев. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

08-15.БДР.010.02.00.000Т2



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Ткач Н.О.			
Пров.	Співак О.Ю.			
Т.контр.	Співак О.Ю.			
Реценз.	Попович М.М.			
Н.контр.	Співак О.Ю.			
Утв.	Степанов Д.В.			

08-15.БДР.010.02.00.000Т2			
Схема теплова функціональна	Лит.	Масса	Масштаб
	Лист	Листов	1
ТЕ-21МС			

08-15.БДР.010.03.00.000 СК

Перв. примен.

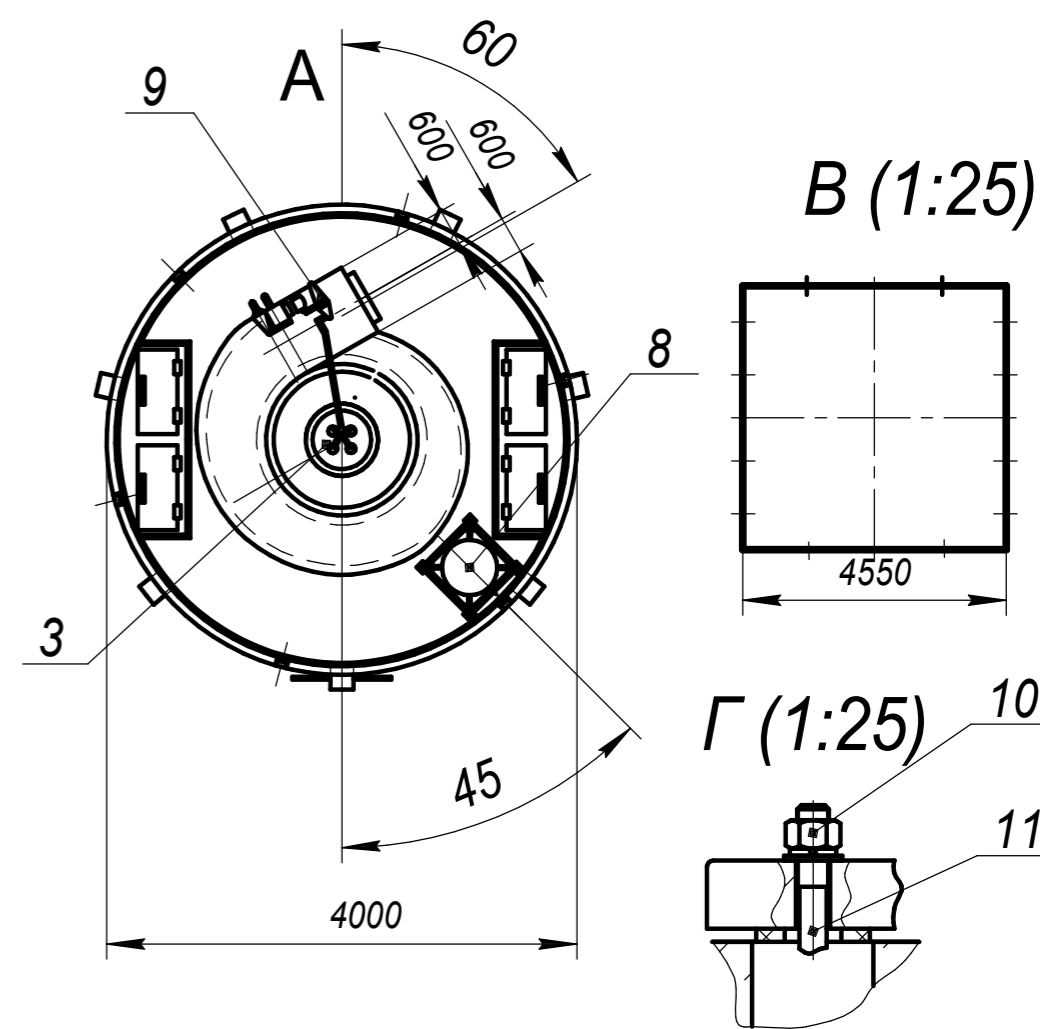
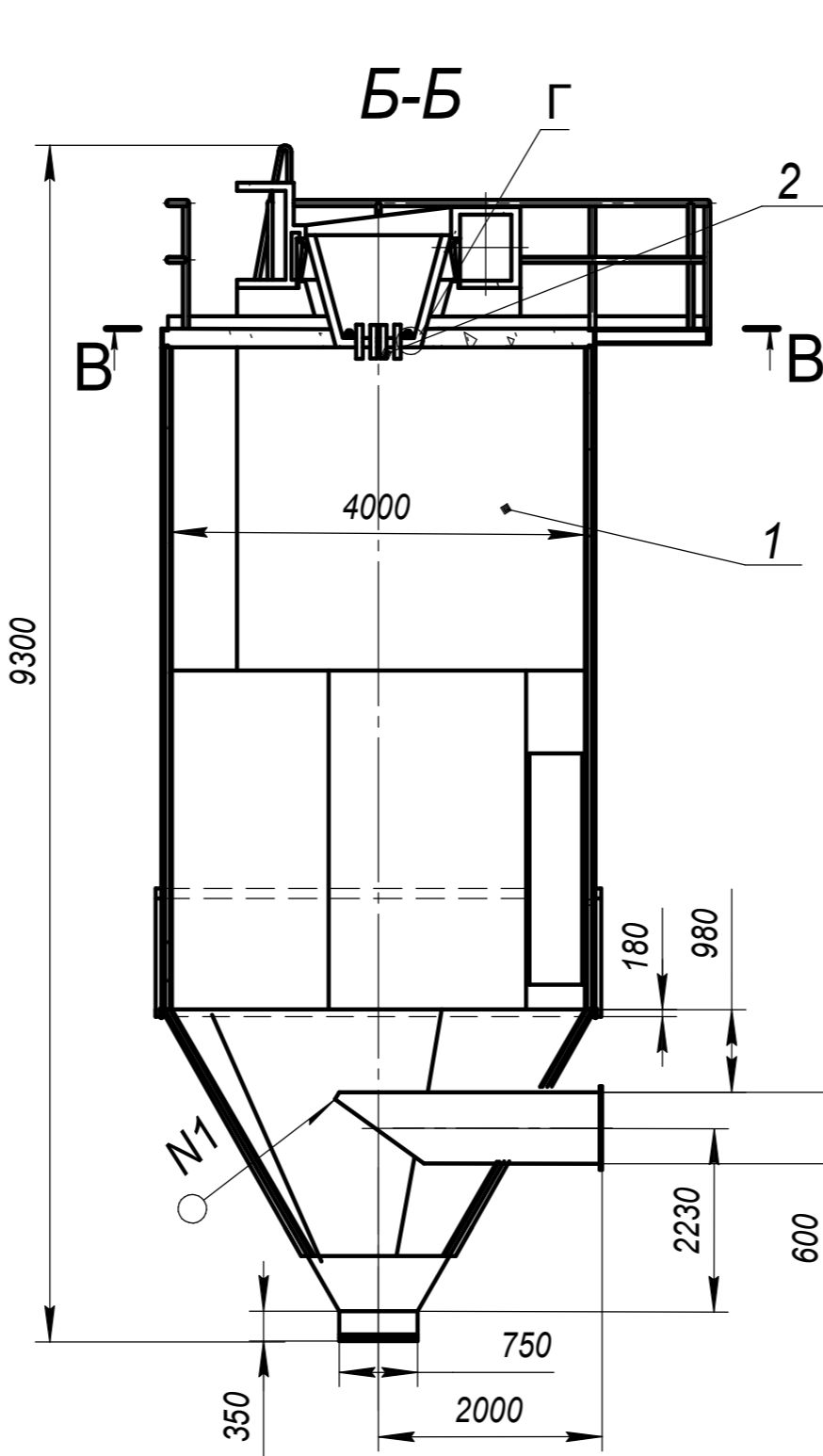
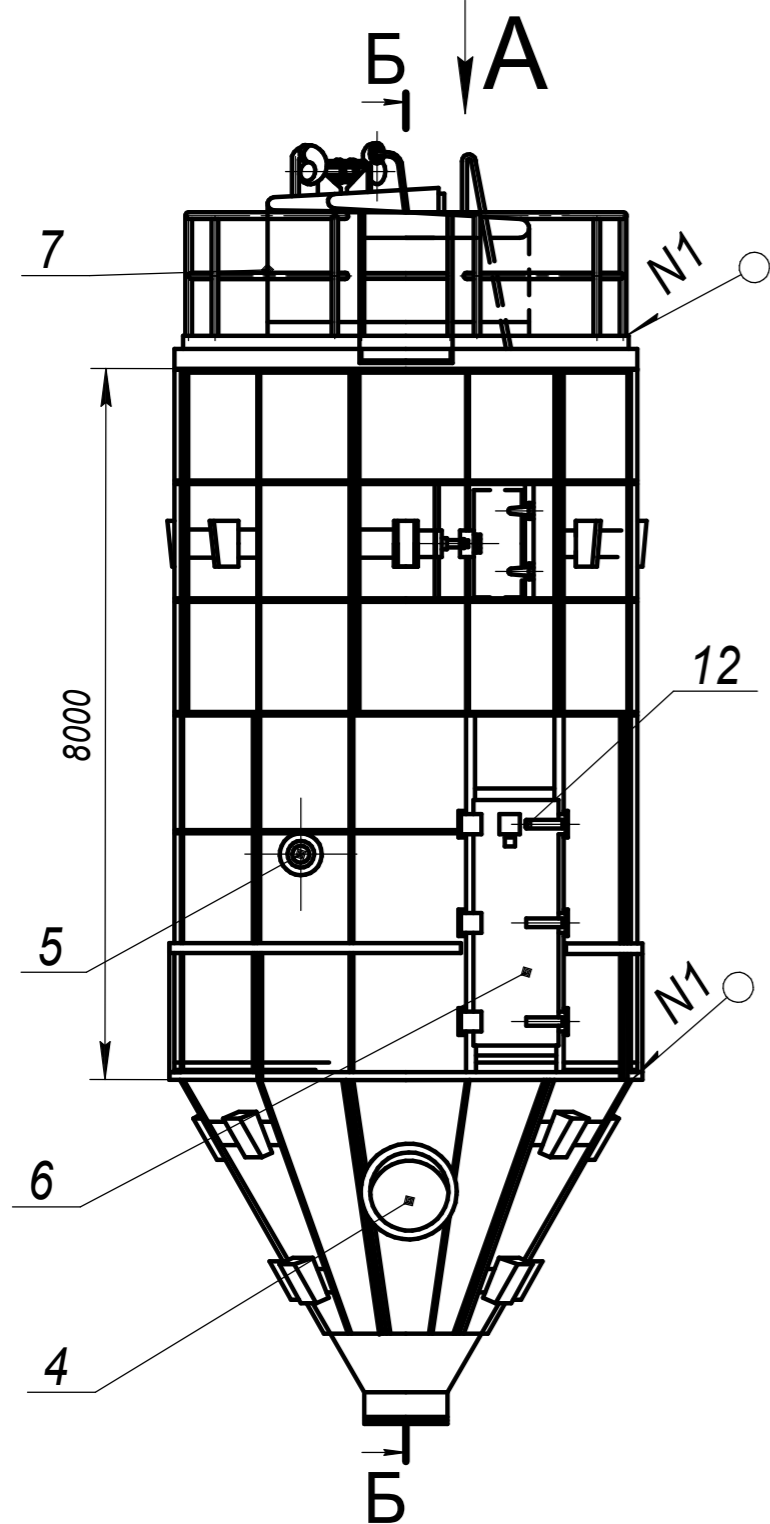
Справ. №

Подп. и дата

Изм. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



Технічні характеристики

1. Видатність за випаруваною вологою кг/год	300
2. Температура сушильного агента °С	175
3. Температура продукта на виході °С	82-96
4. Початковий вміст сухих речовин %	49-53
5. Кінцевий вміст сухих речовин %	96

Технічні вимоги

- Зварні шви за ДСТУ ГОСТ 5264-80-T1-3-2 №1
 - Допуск H14, h14 ± IT 14/2
- * Розміри для довідок.

				08-15.БДР.010.03.00.000 СК				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Сушильна башня Складальне креслення	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Ткач Н.О.							1:1
Пров.	Співак О.Ю.					Лист	Листов	1
Т.контр.	Співак О.Ю.					ТЕ-21МС		
Реценз.	Попович М.М.							
Н.контр.	Співак О.Ю.							
Утв.	Степанов Д.В.							

Копировал

Формат А3

Ине. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Пере. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
											<u>Детали</u>				
									1	08-15.БДР.010.04.00.000	Корпус	1			
									2	08-15.БДР.010.04.02.000	Штуцер повітря вхідний	1			
									3	08-15.БДР.010.04.03.000	Штуцер в/г вхідний	1			
									4	08-15.БДР.010.04.04.000	Укріплення отворів	2			
									5	08-15.БДР.010.04.05.000	Спираль	2			
									6	08-15.БДР.010.04.06.000	Кришка	2			
									7	08-15.БДР.010.04.07.000	Керн	2			
									8	08-15.БДР.010.04.08.000	Прокладка	2			
									9	08-15.БДР.010.04.09.000	Штуцер в/г вихідний	1			
									10	08-15.БДР.010.04.10.000	Штуцер повітря вихідний	1			
									11	08-15.БДР.010.04.11.000	Лапа	2			
									12	08-15.БДР.010.04.12.000	Головка	2			
									13	08-15.БДР.010.04.13.000	Упор верхній	2			
									14	08-15.БДР.010.04.14.000	Підкладка	2			
									15	08-15.БДР.010.04.15.000	Заглушка	2			
									16	08-15.БДР.010.04.16.000	Упор нижній	2			
									17	08-15.БДР.010.04.17.000	Стійка	2			
									19	08-15.БДР.010.04.18.000	Зовнішнє кільце	2			
											Стандартні вироби				
									20		Болт М25х3х60 ГОСТ 10602-94	24			
									21		Шайба Н25х3 ГОСТ 10802-94	24			
									22		Гайка М24х3-6Н ГОСТ 10605-94	24			
									23		Болт М16х3х80 ГОСТ 10602-94	2			
										08-15.БДР.010.04.000					
Изм.		Лист	№ докум.		Подп.	Дата		Теплообмінник спіральний					Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Ткач Н.О.												1	2
Пров.		Співак О.Ю.													
Реценз.		Попович М.М.													
Н.контр.		Співак О.Ю.													
Утв.		Степанов Д.В.						ТЕ-21МС							

08-15.БДР.010.04.00.000СК

Перв. примен.

Справ. №

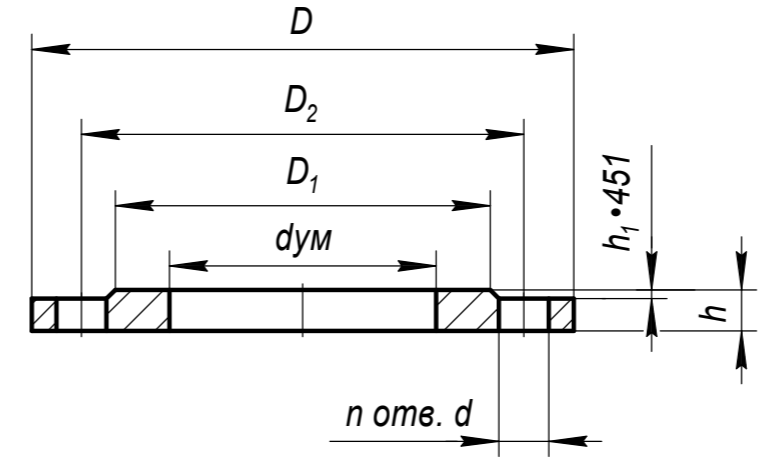
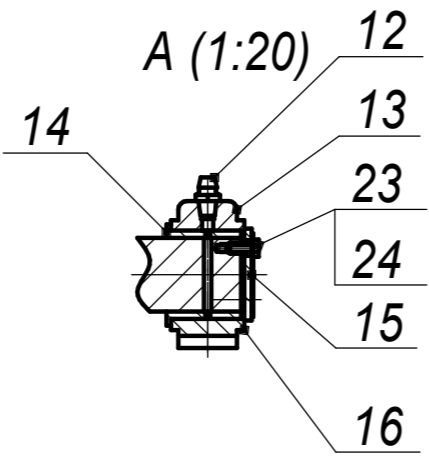
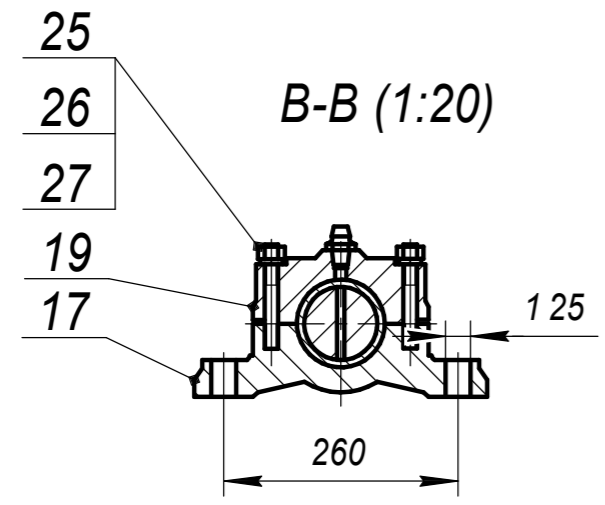
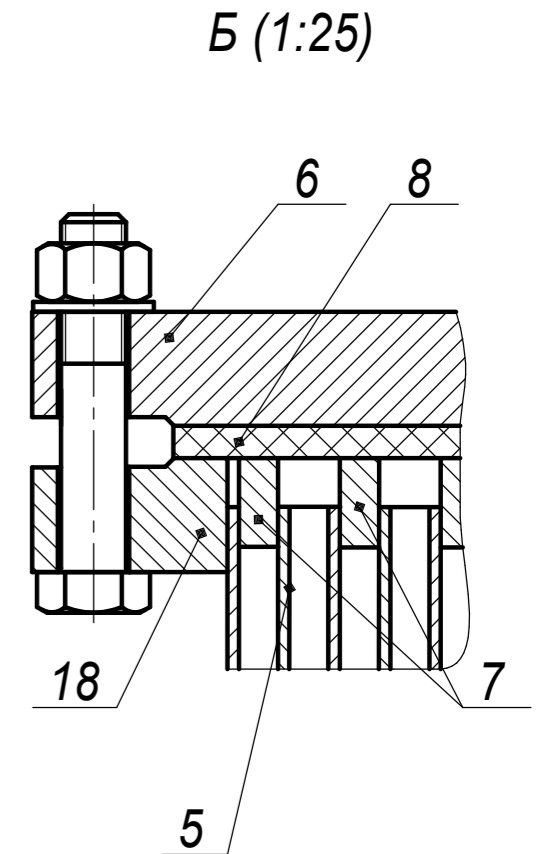
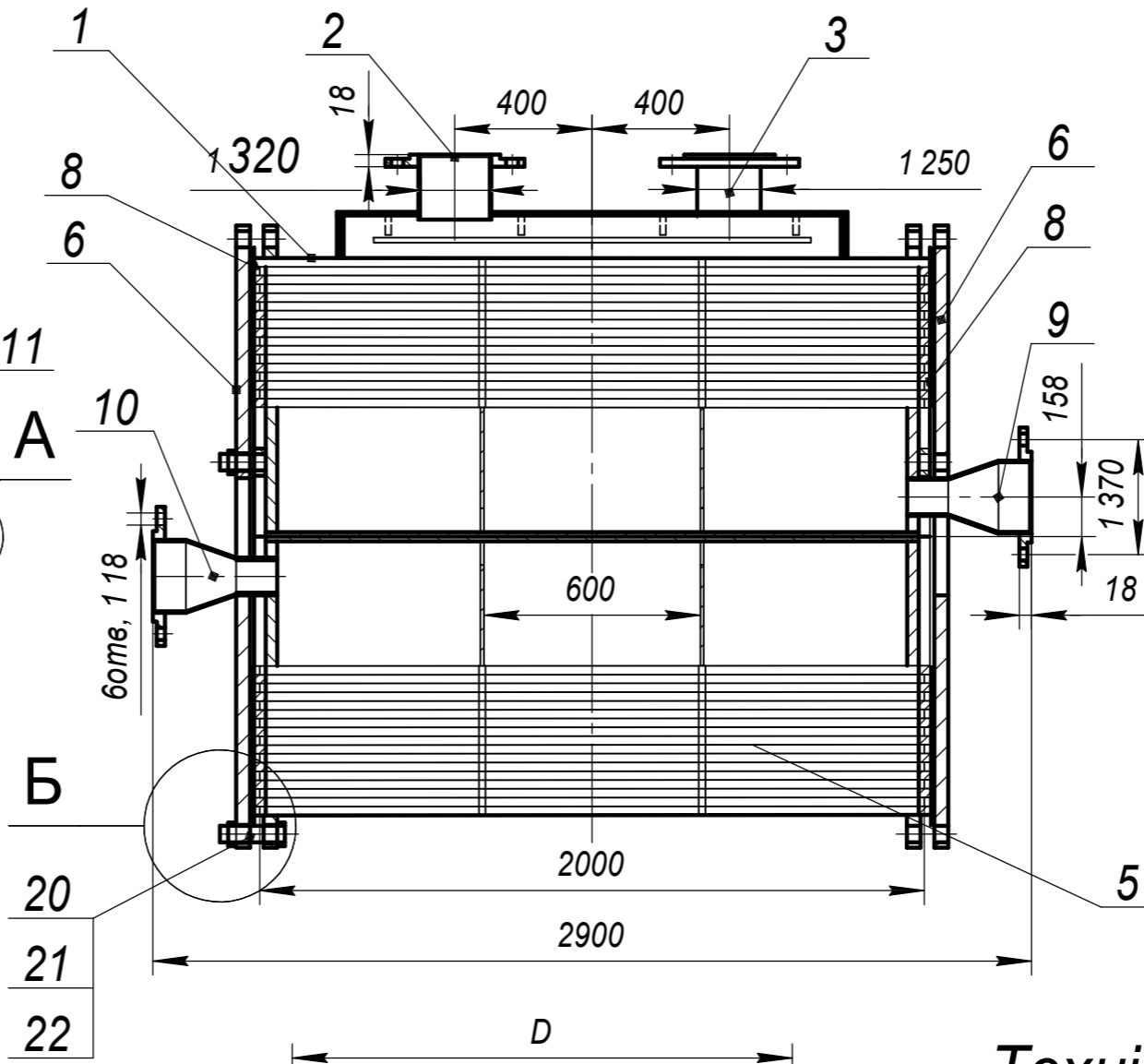
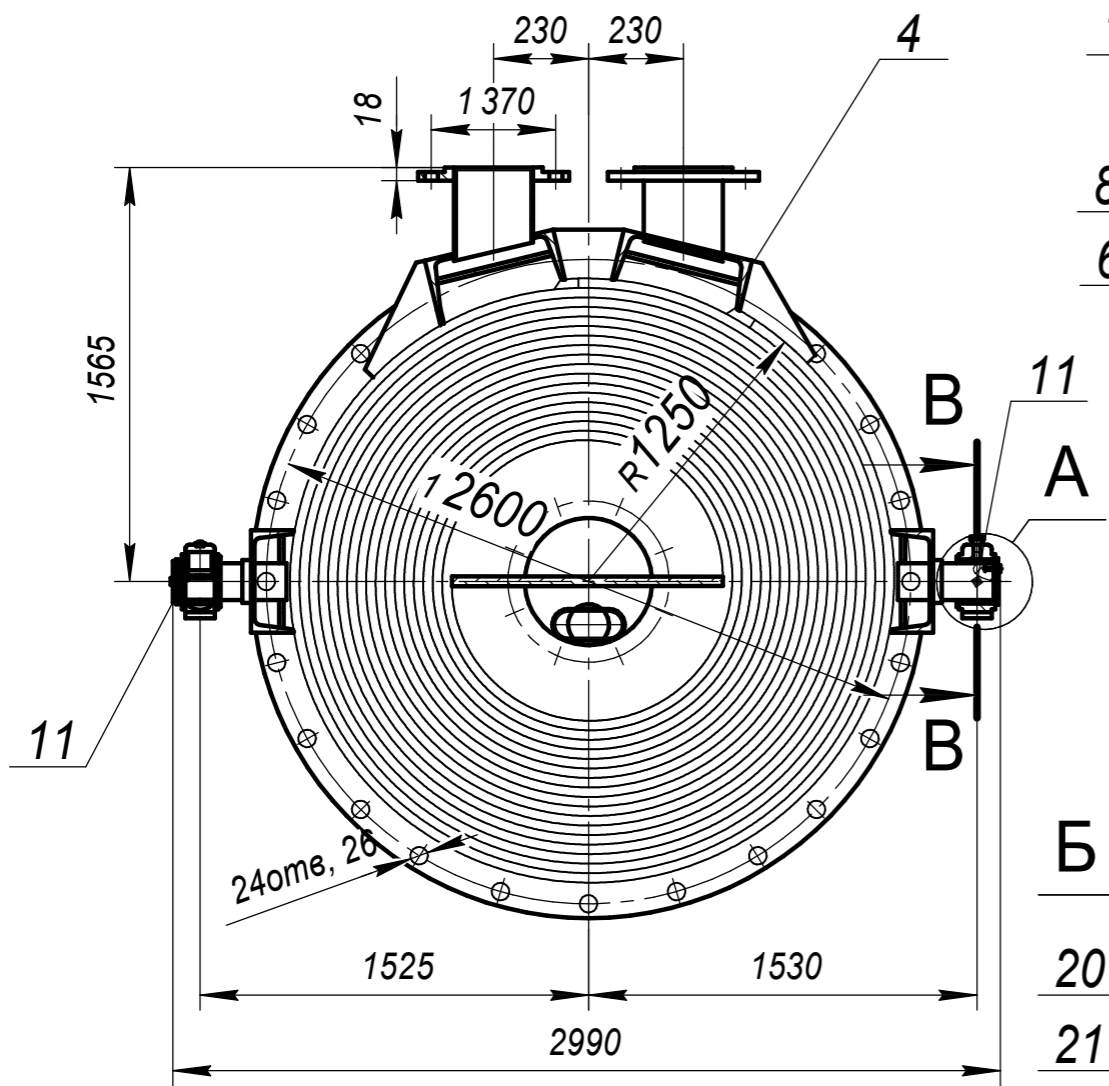
Подп. и дата

Изм. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



Технічні характеристики

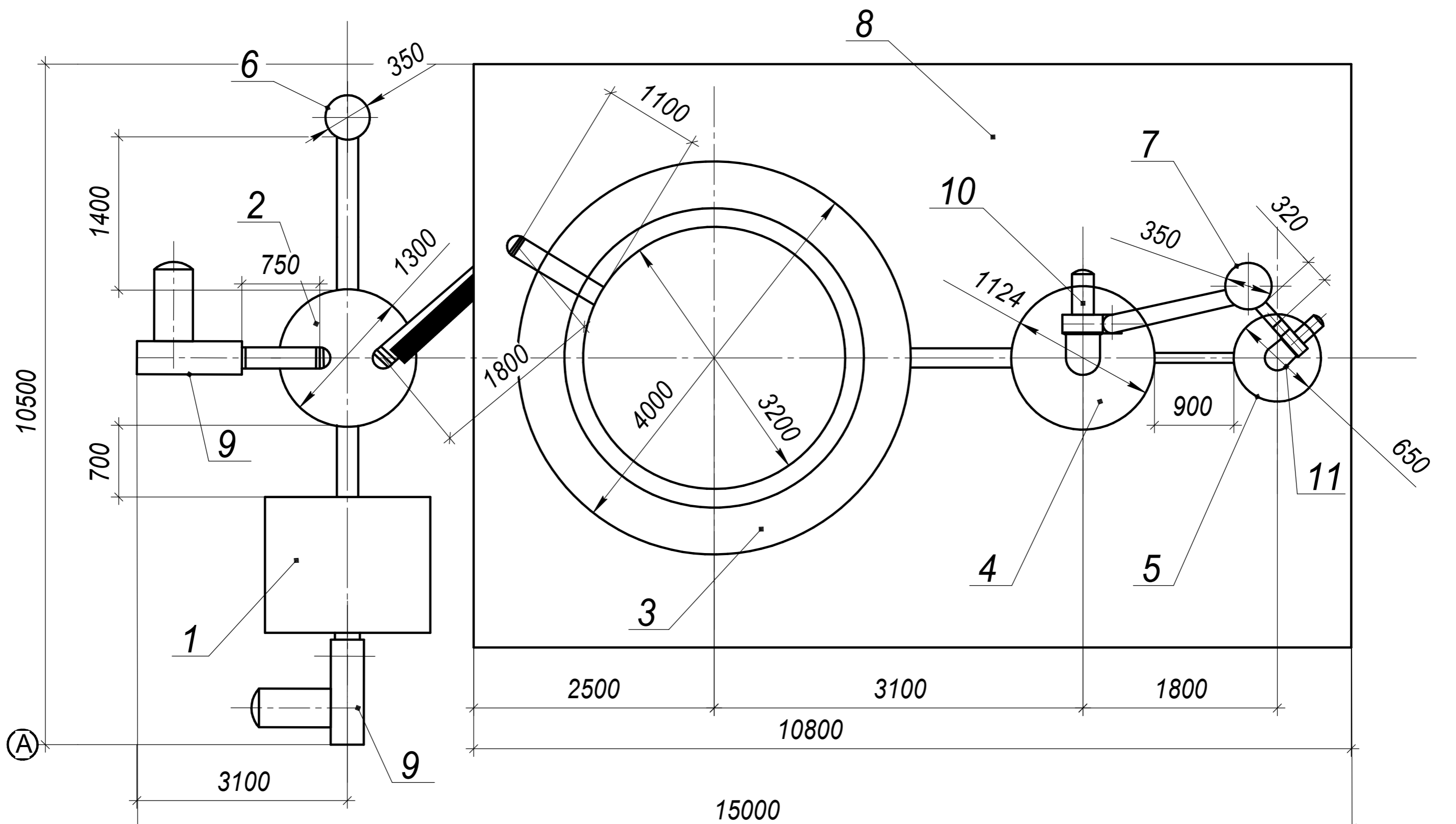
Потужність 250 кВт;
 Висота 2900 мм;
 Ширина 2990 мм;
 Маса 3368 кг;
 Теплоносії: - відхідні гази;
 - повітря.

				08-15.БДР.010.04.00.000СК				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Теплообмінник спіральний складальне креслення	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Ткач Н.О.						3368	1:10
Пров.	Співак О.Ю.					Лист	Листов 1	
Т.контр.	Співак О.Ю.							
Реценз.	Попович М.М.							
Н.контр.	Співак О.Ю.							
Утв.	Степанов Д.В.							
					08X18H10T	TE-21MC		

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Пере. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата			
1	Топка	1															
2	Спиральний теплообмінник	1															
3	Сушильна башта	1															
4	Циклон грубого очищення	1															
5	Циклон тонкого очищення	1															
6	Труба витяжна топкова	1															
7	Труба витяжна циклонна	1															
8	Настил	1															
9	Вентилятор ВЦ 4-70 № 12,5	2															
10	Вентилятор ВЦП 122-43-8	1															
11	Вентилятор ВЦП 122-43-6	1															
08-15.БДР.010.05.00.000																	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	План сушильного комплексу						Лит.	Лист	Листов				
Разраб.	Ткач Н.О.																1
Пров.	Співак О.Ю.																
Реценз.	Попович М.М.																
Н.контр.	Співак О.Ю.																
Утв.	Стеланов Д.В.				ТЕ-21МС												

Согласовано

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



А

1

Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата
Розробив	Ткач Н.О.				
Перевірів	Співак О.Ю.				
Н. Контр.	Співак О.Ю.				
Рецензент	Попович М.М.				
Т. Контр.	Співак О.Ю.				
Затвердив	Степанов Д.В.				

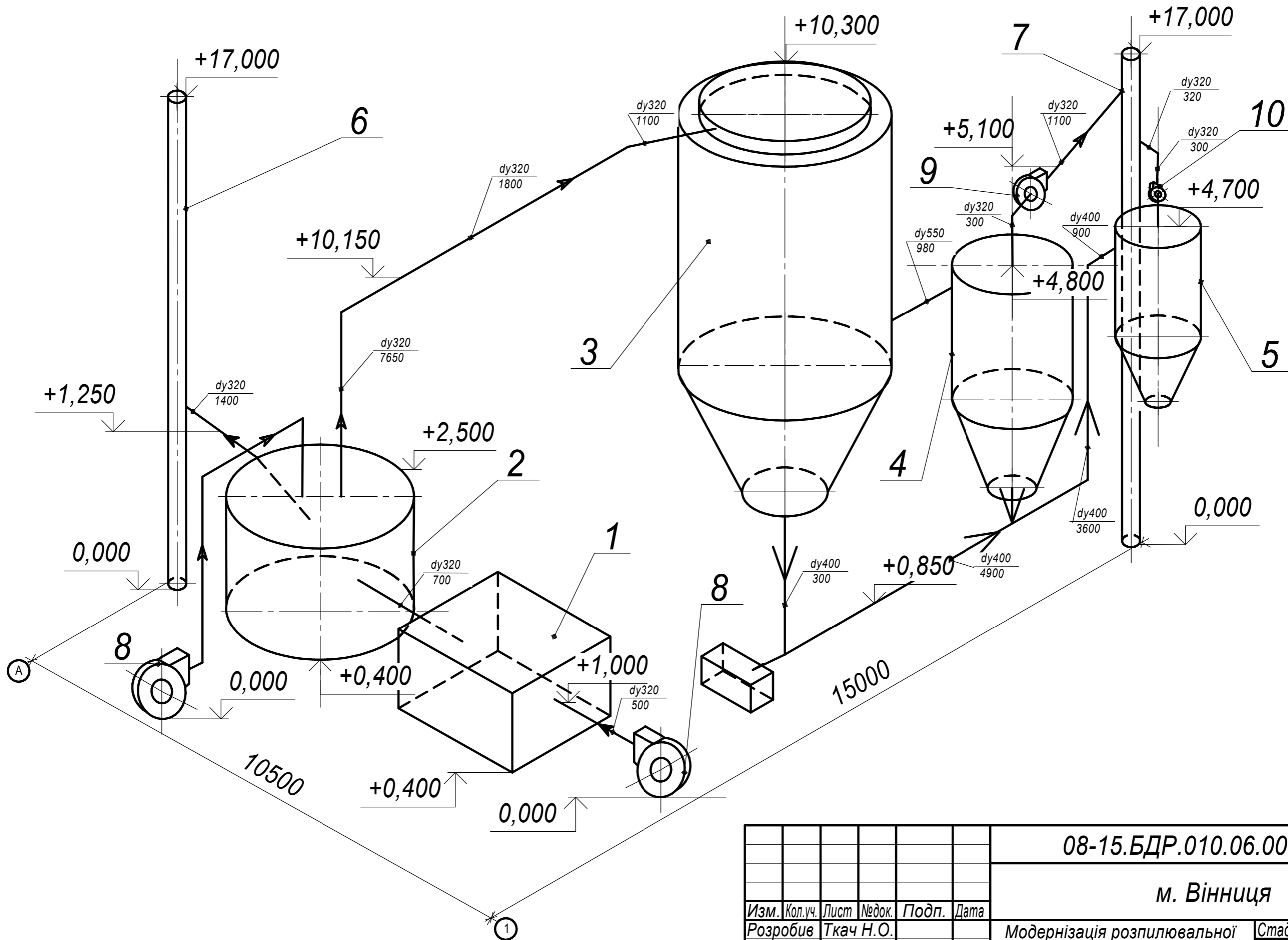
08-15.БДР.010.05.00.000АР

м. Вінниця

Модернізація розпилювальної сушильної установки А1ОР2Ч	Стадія	Лист	Листов
			1

План сушильного комплексу ВНТУ, ТЕ-21МС

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Пере. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата			
1	Топка	1															
2	Спиральний теплообмінник	1															
3	Сушильна башта	1															
4	Циклон грубого очищення	1															
5	Циклон тонкого очищення	1															
6	Труба витяжна топкова	1															
7	Труба витяжна циклонна	1															
8	Вентилятор ВЦ 4-70 № 12,5	2															
9	Вентилятор ВЦП 122-43-8	1															
10	Вентилятор ВЦП 122-43-6	1															
08-15.БДР.010.06.00.000																	
Изм.		Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема аксонометрична					Лит.	Лист	Листов				
Разраб.		Ткач Н.О.															1
Пров.		Співак О.Ю.															
Реценз.		Попович М.М.															
Н.контр.		Співак О.Ю.															
Утв.		Стеланов Д.В.				ТЕ-21МС											



Согласовано

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

08-15.БДР.010.06.00.000АР					
м. Вінниця					
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата
Розробив	Ткач Н.О.				
Перевірів	Співак О.Ю.				
Н. Контр.	Співак О.Ю.				
Рецензент	Попович М.М.				
Т. Контр.	Співак О.Ю.				
Затвердив	Степанов Д.В.				
Модернізація розпилювальної сушильної установки А1ОР2Ч				Стадія	Лист
Схема аксонометрична					Листов
					1
				ВНТУ, ТЕ-21мс	

Додаток Г
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

МОДЕРНІЗАЦІЯ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ
СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ А1ОР2Ч

Студент _____ Ткач Н.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

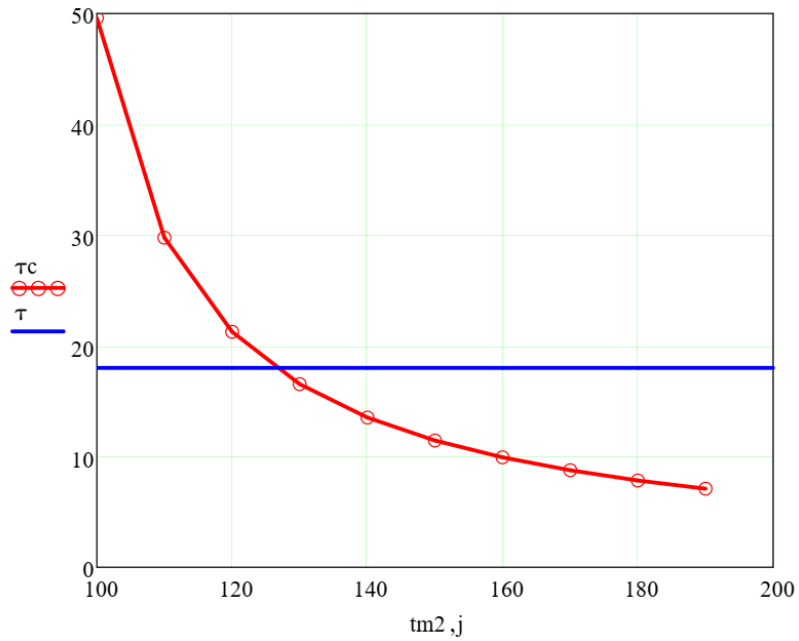


Рисунок 1 – Визначення оптимальної температури теплоносія для сушіння молочних продуктів в розпилювальній сушарці

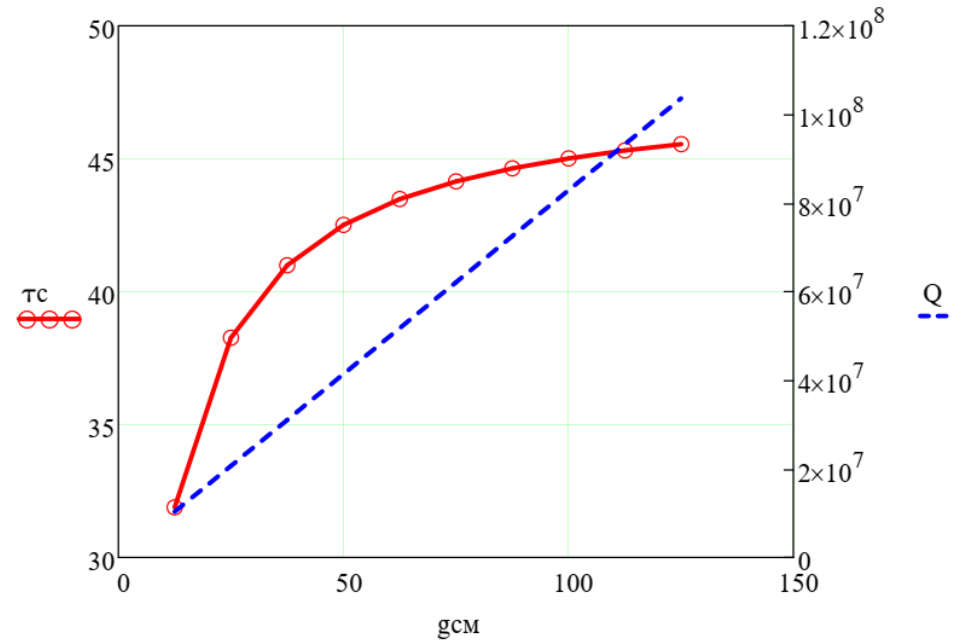


Рисунок 2 – Вплив питомої витрати повітря на час перебування часточок в сушильній камері

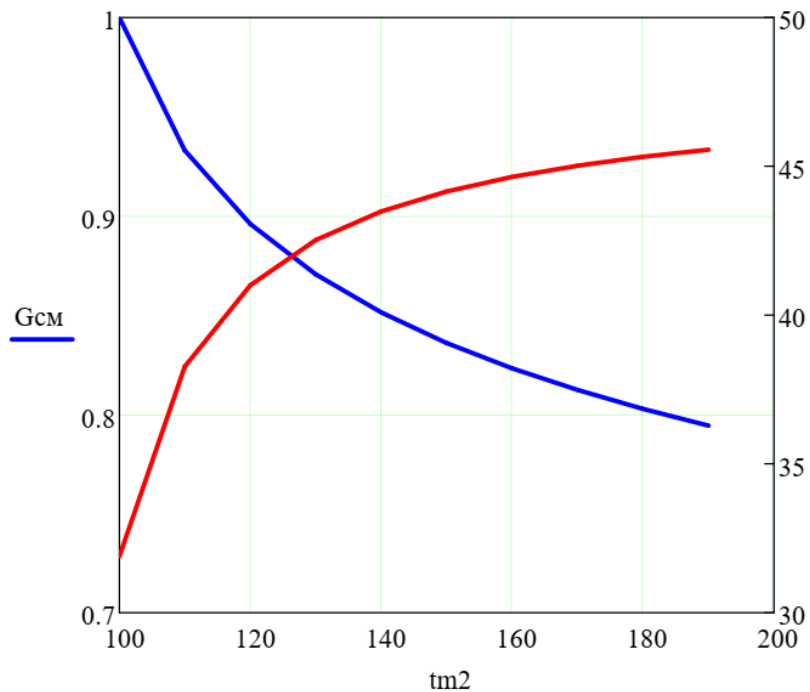


Рисунок 3 – Зв'язок між терміном перебування часточок в робочій камері, витратою повітря в камері і температурою розігрівання висушеного матеріалу

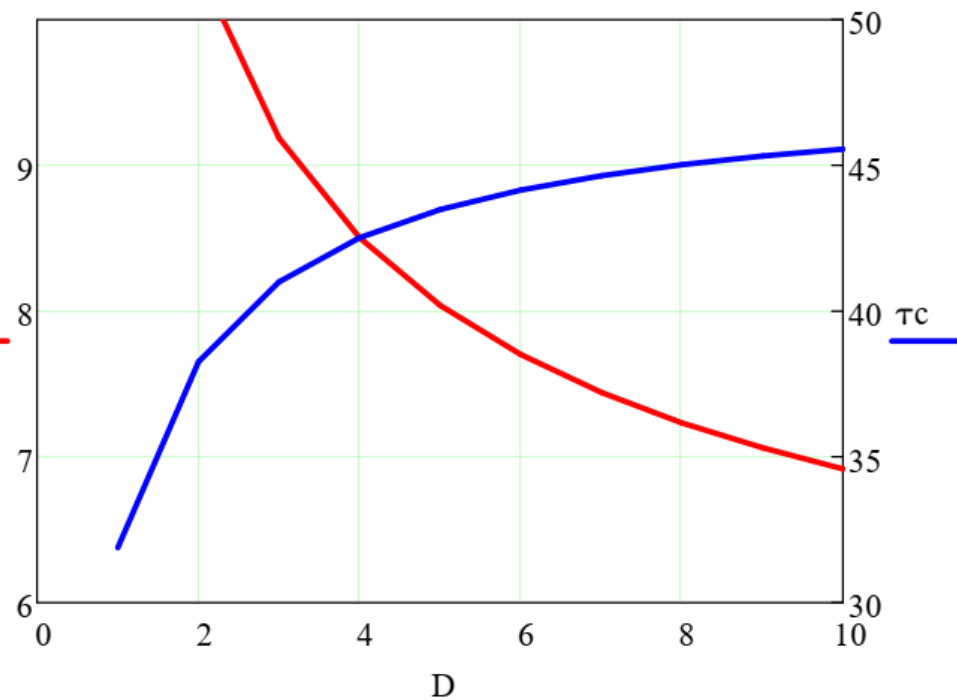


Рисунок 4 – Залежність утримуючої здатності камери при робочій швидкості теплоносія від зміни діаметра башти

Додаток Д
(довідниковий)

Математична модель роботи сушарки А1ОР2Ч

Початкові дані

Температура матеріалу на вході в сушарку	$tm1 := 18$	<u>ORIGIN</u> := 1
Температура матеріалу на виході з сушарки		
	$tm2 := (100 \ 110 \ 120 \ 130 \ 140 \ 150 \ 160 \ 170 \ 180 \ 1$	$tm2 := tm2^T$
Вологовміст теплоносія на вході в калорифер	$d0 := 0.0077$	
Вологовміст теплоносія на виході з калорифера	$d2 := 0.038$	
Молярна маса газу	$M_{\Gamma} := 29$	
Молярна маса водяної пари	$M_{\Pi} := 18$	
Динамічна в'язкість водяної пари	$\mu_{\Pi} := 15.66 \cdot 10^{-6}$	
Динамічна в'язкість сухого газу	$\mu_{\Gamma} := 18.1 \cdot 10^{-6}$	
Теплоємність пари	$C_{\Pi} := 2.956$	
Теплоємність сухого газу	$C_{\Gamma} := 1.005$	
Коефіцієнт Пуассона	$k := 1.4$	
Пористість матеріалу на вході та виході	$\omega_1 := 0.51 \quad \omega_2 := 0.04$	
Діаметр вихорової камери	$D := 4$	
Еквівалентний діаметр	$d_e := 5 \cdot 10^{-4}$	
Висота камери	<u>L</u> := 9900 $h := 0.09$	
Маса сировини на вході	$M_1 := 612.2$	
Дисперсність матеріалу	$f := 1.2$	
Кількість підводів	$n := 3$	
Густина сухого повітря та матеріалу	$\rho_{\Pi} := 1.205 \quad \rho_{\Gamma} := 1027$	
Витрата повітря	$G_{\Sigma} := 1.555$	

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОНОСІЯ І СИРОВИНИ

Середня температура теплоносія	$t_{mc} := 0.5 \cdot (t_{m1} + t_{m2})$
Середній вологовміст повітря	$d := 0.5 \cdot (d_0 + d_2) = 0.023$
Густина вологої суміші	$\rho_{cm} := \frac{273 \cdot \left[\rho_{сп} \cdot (1 + d) \cdot \left(1 + d \cdot \frac{M_{Г}}{M_{П}} \right) \right]}{(273 + t_{m1})} = 1.199$
Міра сухості	$x := d \cdot (1 + d) = 0.023$
Коефіцієнт динамічної в'язкості	$\mu_{cm} := \left(\frac{x}{\mu_{П}} + \frac{1 - x}{\mu_{Г}} \right)^{-1} = 1.803 \times 10^{-5}$
Теплоємність суміші	$C_{cm} := C_{П} \cdot x + C_{Г} \cdot (1 - x) = 1.051$
Теплопровідність суміші	$\lambda_{cm} := \frac{1.72 \cdot C_{cm} \cdot \mu_{cm} \cdot 10^3}{k} = 0.023$
Температуропровідність суміші	$a_{cm} := \frac{\lambda_{cm}}{\rho_{cm} \cdot C_{cm} \cdot 10^3} = 1.848 \times 10^{-5}$
Кінематична в'язкість суміші	$\nu_{cm} := \frac{\mu_{cm}}{\rho_{cm}} = 1.504 \times 10^{-5}$
Критерій Прандтля	$Pr := \frac{\nu_{cm}}{a_{cm}} = 0.814$
Об'ємна густина матеріалу	$\rho_v := \rho_m \cdot (1 + \omega_2) = 1.068 \times 10^3$
Густина матеріалу на вході в сушарку	$\rho_{m1} := \rho_v \cdot (1 + \omega_1) = 1.613 \times 10^3$
Теплота пароутворення	$r := 2880$

ВИЗНАЧЕННЯ ГАБАРИТІВ СУШАРКИ І ТРИВАЛОСТІ СУШІННЯ

Критерій Архімеда $Ar := \frac{(\rho_M - \rho_{CM}) \cdot 9.87 \cdot de^3}{\rho_{CM} \cdot \nu_{CM}^2} = 4665$

Критичний критерій Рейнольдса $Re := 0.29 \cdot 0.112^{0.64} \cdot \left(\frac{0.25D}{de}\right)^{1.3} \cdot Ar^{0.6} = 222102$

Критична швидкість витікання газу $v_{кр} := \frac{Re \cdot \nu_{CM}}{h} = 37.123$

Швидкість газу на вході в робочу зону $W1 := 1.9 \cdot v_{кр} = 70.533$

Ширина камери $b := \frac{12(1 + d0)}{\rho_{CM} \cdot W1 \cdot h} = 1.589$

Масова концентрація дисперсної фази $\mu_{ч} := \frac{M1 \cdot (2 + \omega1 + \omega2)}{2 \cdot L} = 0.079$

Кінетична енергія газів за критичної швидкості витікання

$$E_{кр} := \frac{1.555 \cdot (1 + d0) \cdot v_{кр}^2}{2} = 1080$$

Утримуюча здатність камери за критичної швидкості

$$G_{кр} := 6.2 \cdot 10^{-3} \cdot E_{кр} \cdot D^{-0.55} \cdot n^{0.15} = 3.682$$

Утримуюча здатність камери за робочої швидкості

$$G_p := G_{кр} \cdot \left[1 + 0.9 \cdot \left(\frac{v_{кр}}{W1}\right)^{2.5} \cdot \mu_{ч}^{0.55} \cdot \left(\frac{v_{кр}}{W1}\right) \right] = 4.002$$

Витрата матеріалу на вході $G1 := M1 \cdot (1 + \omega1) = 924$

Витрата матеріалу на виході $G2 := M1 \cdot (1 + \omega2) = 637$

Тривалість перебування матеріалу в сушарці $\tau := \frac{2 \cdot Gp \cdot 3600}{G1 + G2} = 18$

Критерій Рейнольдса в тангенціальному каналі

$$Re_{kp} := 0.29 \cdot \left(\frac{D}{2h}\right)^{0.36} \cdot \left(\frac{D}{de}\right)^{0.33} \cdot Ar^{0.6}$$

Критерій Рейнольдса за швидкістю в сушарці $t2 := 85$

$$Re_c := \frac{W1 \cdot de}{\nu_{cm}} = 2344$$

$$t1 := 55$$

Критерій Нуссельта для міжфазного теплообміну

$$Nu := 0.047 \cdot Ar^{-0.1} \cdot \left(\frac{de}{D}\right)^{0.33} \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0.15} \cdot Re_c \cdot \left(\frac{Gp}{Gkp}\right)^{-0.6} = 1.313$$

Коефіцієнт міжфазного теплообміну $\alpha := \frac{Nu \cdot \lambda_{cm}}{de} = 61.1$

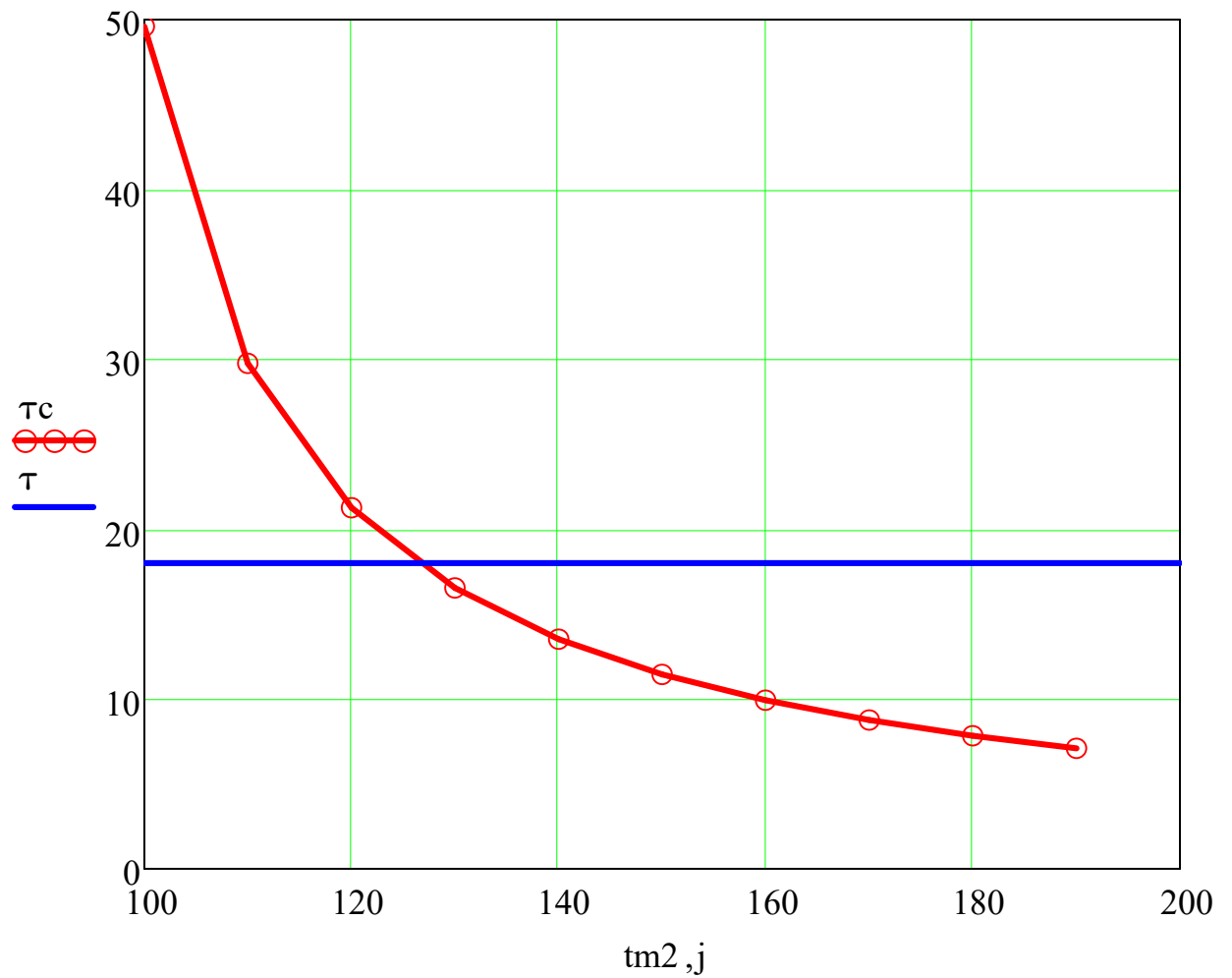
Питома поверхня дисперсної фази $S_{ww} := \frac{6 \cdot f}{de} = 1.44 \times 10^4$

Питома витрата повітря $g_{cm} := \frac{G_{cm} \cdot 3600}{G1 - G2} = 19.455$

Тривалість сушіння матеріалу

$$\tau_c := g_{CM} \cdot C_{CM} \cdot \rho_V \cdot 10^3 \cdot (t_2 - t_1) \cdot [\alpha \cdot S \cdot (tm_2 - t_2)]^{-1} =$$

	1
1	49.6
2	29.8
3	21.3
4	16.5
5	13.5
6	11.4
7	9.9
8	8.8
9	7.8
10	7.1



$$\underline{G_{CM}} := (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10) \quad G_{CM} := G_{CM}^T$$

Витрата матеріалу на вході $\underline{G1} := M1 \cdot (1 + \omega1) = 924$

Витрата матеріалу на виході $\underline{G2} := M1 \cdot (1 + \omega2) = 637$

Тривалість перебування матеріалу в сушарці $\tau := \frac{2 \cdot Gp \cdot 3600}{G1 + G2} = 18$

Критерій Рейнольдса в тангенціальному каналі

$$\underline{Re_{kp}} := 0.29 \cdot \left(\frac{D}{2h}\right)^{0.36} \cdot \left(\frac{D}{de}\right)^{0.33} \cdot Ar^{0.6} = 1148$$

Критерій Рейнольдса за швидкістю в сушарці

$$\underline{Re_c} := \frac{W1 \cdot de}{\nu_{CM}} = 2344 \quad \underline{t2} := 85$$

$$\underline{t1} := 55$$

Критерій Нуссельта для міжфазного теплообміну

$$\underline{Nu} := 0.047 \cdot Ar^{-0.1} \cdot \left(\frac{de}{D}\right)^{0.33} \cdot \left(\frac{h}{D}\right)^{0.15} \cdot Re_c \cdot \left(\frac{Gp}{Gkp}\right)^{-0.6} = 1.313$$

Коефіцієнт міжфазного теплообміну $\underline{\alpha} := \frac{Nu \cdot \lambda_{CM}}{de} = 61.1$

Питома поверхня дисперсної фази $\underline{S} := \frac{6 \cdot f}{de} = 1.44 \times 10^4$

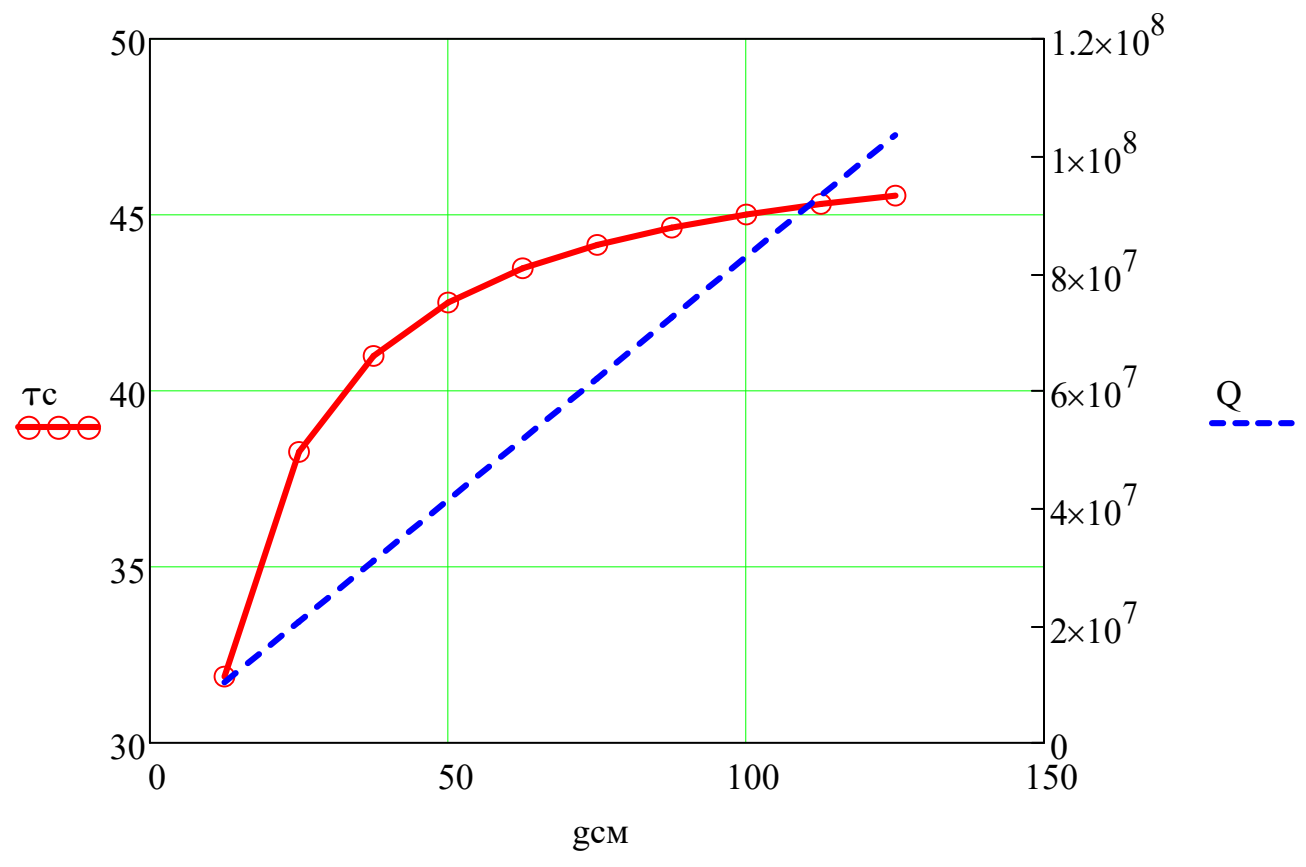
Питома витрата повітря $\underline{g_{CM}} := \frac{G_{CM} \cdot 3600}{G1 - G2}$

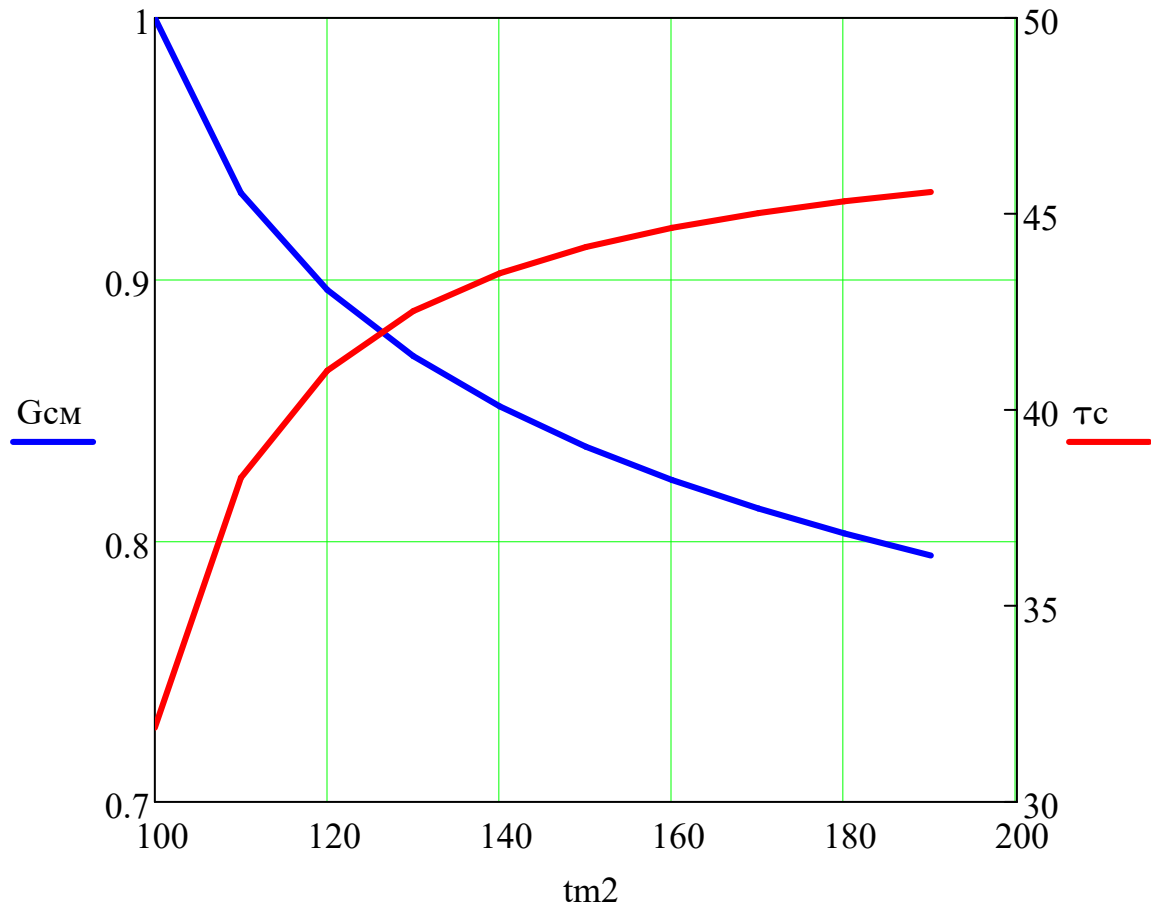
Тривалість сушіння матеріалу

$$\tau_c := \overrightarrow{\left[g_{cm} \cdot C_{cm} \cdot \rho_v \cdot 10^3 \cdot (t_2 - t_1) \cdot [\alpha \cdot S \cdot (t_{m2} - t_2)]^{-1} \right]}$$

$$W := G_1 - G_2$$

$$Q := W \cdot g_{cm} \cdot r$$





Критерій Архімеда
$$\underline{Ar} := \frac{(\rho_M - \rho_{CM}) \cdot 9.87 \cdot d_e^3}{\rho_{CM} \cdot \nu_{CM}^2}$$

Критичний критерій Рейнольдса
$$\underline{Re} := 0.29 \cdot 0.112^{0.64} \cdot \left(\frac{0.25D}{d_e}\right)^{1.3} \cdot Ar^{0.6}$$

Критична швидкість витікання газу
$$\underline{v_{кр}} := \frac{Re \cdot \nu_{CM}}{h}$$

Швидкість газу на вході в робочу зону
$$\underline{W1} := 1.9 \cdot v_{кр}$$

$$\underline{G_{CM}} := G_{CM}^{-1}$$

Ширина камери
$$\underline{b} := \frac{12(1 + d_0)}{\rho_{CM} \cdot W1 \cdot h}$$

Масова концентрація дисперсної фази

$$\mu_{\text{ч}} := \frac{M1 \cdot (2 + \omega1 + \omega2)}{2 \cdot L}$$

Кінетична енергія газів за критичної швидкості витікання

$$E_{\text{кр}} := \frac{1.555 \cdot (1 + d0) \cdot v_{\text{кр}}^2}{2}$$

Утримуюча здатність камери за критичної швидкості

$$G_{\text{кр}} := \left(6.2 \cdot 10^{-3} \cdot E_{\text{кр}} \cdot D^{-0.55} \cdot n^{0.15} \right)$$

Утримуюча здатність камери за робочої швидкості

$$G_{\text{р}} := 4.5 + 1G_{\text{кр}} \cdot \left[1 + 0.9 \cdot \left(\frac{v_{\text{кр}}}{W1} \right)^{2.5} \cdot \mu_{\text{ч}}^{0.55} \cdot \left(\frac{v_{\text{кр}}}{W1} \right) \right]$$

