

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Хіміко – технологічний факультет**  
Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів.

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Т.В.Бойко  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” червня 2019 р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**з напрямку підготовки (спеціальності) 6.050202(151) «Автоматизація та  
комп'ютерно- інтегровані технології»**

**на тему: «Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу сушки  
кристалічних матеріалів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ХА-51  
Пшеничний Максим Леонідович \_\_\_\_\_

Керівник:

доц. каф. КХТП, к.т.н., доц.,зав.каф. Бойко Т.В. \_\_\_\_\_

Консультанти:

з хімічної технології доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Безносик Ю.О. \_\_\_\_\_

(підпис)

з автоматизов. регулювання доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Бондаренко С.Г. \_\_\_\_\_

(підпис)

з охорони праці доцент каф. охорони праці, промислової  
та цивільної безпеки, к.т.н., доц Полукаров Ю.О. \_\_\_\_\_

(підпис)

з організаційно-економічної частини доц. кафедри економіки і  
підприємництва, к.х.н. доц. Підлісна О.А. \_\_\_\_\_

Нормативний контроль доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Шахновський А.М. \_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень  
з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Хіміко – технологічний факультет

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів .

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (спеціальність) 6.050202 (151) "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

Т.В.Бойко

(підпис)

«19» лютого 2019 р

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Пшеничному Максиму Леонідовичу

1. Тема проекту Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу сушки кристалічних матеріалів

керівник проекту Бойко Тетяна Владиславівна к.т.н., доц. зав.каф.,  
затверджені наказом по університету від «05» травня 2019 р № 1221-с.

2. Термін подання студентом проекту 11 червня 2019 р

3. Вихідні дані до проекту \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Полукаров Ю. О. доц. каф. охорони праці, промислової та цивільної безпеки		
Організаційно-економічна частин	Підлісна О.А. доц. кафедри економіки і підприємництва		
Розрахунок матеріальних балансів ХТС	Безносик Ю.О. доц. кафедри кібернетики ХТП		
Розроблення схеми автоматизації ХТС	Бондаренко С.Г. доц. кафедри кібернетики ХТП.		

7. Дата видачі завдання 19 лютого 2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк викон. етапів проекту	Примітка
1	Характеристика виробництва, продукції, сировини, допоміжних матеріалів. Комп'ютерно-інтегрований розрахунок матеріальних балансів схеми.		
2	Розрахунок основного апарата. Блок-схема обчислювального модуля (формат А1).		
3	Складальний кресленик монтажу технічного засобу автоматизації на об'єкті (формат А1).		
4	Розробка рішень з контролю та керування виробництвом. Технологічна схема автоматизації (формат А1).		
5	Розробка рішень з охорони праці та економіки і управління виробництвом		
6	Оформлення пояснювальної записки, виконання ілюстративних матеріалів (презентації).		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

М. Л. Пшеничний

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ (підпис)

Т. В. Бойко

## Реферат

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, СУШКА КРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ, МОДЕЛЮВАННЯ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС.

Пояснювальна записка 107 с., 15 рис., 29 табл., 5 додатків, 26 джерел.

Темою даного проекту є комп'ютерне моделювання процесу сушки кристалічних матеріалів.

Метою даного проекту є проектування сушильно-охолоджувальної установки методами комп'ютерного моделювання, розробка обчислювального модуля та системи автоматизації.

Виконано комп'ютерний розрахунок основних технологічних параметрів в середовищі Chemcad 7.1.

Розроблено алгоритм проектування із застосуванням математичних моделей.

Розроблено обчислювальний модуль для проведення розрахунку на мові програмування C#.

Розроблено схему автоматизації процесу, яка містить 19 контурів для контролю, сигналізації і регулювання, витрати, температури і тиску. Обрані необхідні пристрої контролю і регулювання.

Представлено термометр опору, як основний елемент.

Проведено розрахунки основних техніко - економічних показників процесу сушки із врахуванням автоматизації.

Розглянуто заходи з охорони праці на підприємстві. Наведено технічні рішення з техніки безпеки.

## Реферат

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, СУШКА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС.

Пояснительная записка 107 с., 15 рис., 29 табл., 5 приложений, 26 источников.

Темой данного проекта является компьютерное моделирование процесса сушки кристаллических материалов.

Целью данного проекта является проектирование сушильно-охладительной установки методами компьютерного моделирования, разработка вычислительного модуля и системы автоматизации.

Выполнен компьютерный расчет основных технологических параметров в среде Chemcad 7.1.

Разработан алгоритм проектирования с применением математических моделей.

Разработан вычислительный модуль для проведения расчета на языке программирования C #.

Разработана схема автоматизации процесса, содержит 19 контуров для контроля, сигнализации и регулирования, расхода, температуры и давления. Выбраны необходимые устройства контроля и регулирования.

Представлен термометр сопротивления, как основной элемент.

Проведены расчеты технико - экономических показателей процесса сушки с учетом автоматизации.

Рассмотрены мероприятия по охране труда на предприятии. Приведены технические решения по технике безопасности.

## **Abstract**

COMPUTER MODELING, AUTOMATION, DRYING OF CRYSTAL MATERIALS, MODELING, MATERIAL BALANCE.

Explanatory note 107 p., 15 figures, 29 tables, 5 appendixes, 24 sources.

The topic of this project is computer simulation of the process of drying crystalline materials.

The purpose of this project is to design a drying and cooling plant by computer modeling, development of a computing module and automation system.

Computer calculation of basic technological parameters in the environment of Chemcad 7.1 is executed.

The algorithm of designing with application of mathematical models is developed.

A computational module for calculating the C # programming language has been developed.

The process automation scheme, which contains 19 contours for monitoring, signaling and regulation, flow, temperature and pressure, is developed. The necessary control and control devices are selected.

The resistance thermometer is presented as the main element.

The calculations of the main technical and economic parameters of the drying process with the account of automation are carried out.

Considered measures for occupational safety at the enterprise. Technical safety solutions are given.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз технологічної схеми процесу сушки кристалічних матеріалів.....	11
1.1. Загальна характеристика процесу сушки.....	11
1.2. Загальна характеристика технологічної схеми процесу.....	13
2 Розрахунок матеріальних балансів процесу сушки.....	17
2.1. Розрахунок матеріальних балансів .....	17
2.2. Розрахунок теплових балансів.....	22
3 Комп'ютерний розрахунок сушильно-охолоджувальної установки.....	25
3.1. Математичне забезпечення обчислювального модуля.....	25
3.2. Технічне завдання на розробку обчислювального модуля.....	30
3.3 Програмний модуль для обчислення процесу сушки кристалічних матеріалів .....	31
3.4 Інструкція користувача програмного продукту.....	36
4 Автоматизація технологічної схеми процесу сушки.....	39
4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми.....	40
4.2 Характеристика розробленої схеми автоматизації.....	45
5 Економіко – технічні розрахунки.....	49
5.1 Технічна підготовка підприємства .....	49
5.2 Оптимальний вид руху предметів праці (ВРПП).....	49
5.3 Необхідна кількість співробітників.....	52
5.4 Чисельність персоналу явочна і за списком .....	52
5.5 Контроль виробництва.....	55
5.6 Баланс споживання оборотних фондів .....	56
5.7 Розрахунок основних фондів .....	58

					ХА 5115 1490 001 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерний моделювання та автоматизація процесу сушки кристалічних матеріалів				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Пшеничний										7	107
Перевір.												
Н.Контр.	Шахновський											
Затверд.	Бойко				НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ХТФ ХА-41							

5.8 Розрахунок собівартості, прибутку та періоду повернення капіталовкла - день .....	59
5.9 Перерахунок економіко-технічних показників з використанням модерніза- ції.....	61
6 Охорона праці.....	70
6.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектованому об'єкті. Заходи з охорони праці.....	70
6.1.1. Повітря робочої зони.....	70
6.1.2. Виробниче освітлення .....	73
6.1.3. Захист від виробничого шуму й вібрацій .....	74
6.1.4. Електробезпека.....	74
6.1.5. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання .....	76
6.2 Пожежна безпека.....	78
Висновок.....	81
Список використаної літератури.....	82
Додатки.....	84
Додаток А.....	85
Додаток Б.....	87
Додаток В.....	88
Додаток Г.....	93
Додаток Д.....	104



## Перелік умовних позначень, символів і скорочень

$G_{\text{п}}$  – маса вологого матеріалу, кг/с;

$G_{\text{к}}$  – маса висушеного матеріалу, кг/с;

$W$  – волога, кг;

$L_1$  – витрати повітря на сушку,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$L_2$  – витрати повітря на охолодження,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$S$  – площа поперечного перерізу,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі для сушильної камери  $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$K$  – коефіцієнт тепловіддачі для охолоджувальної камери,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;

ВРПП – види руху предметів праці;

$C$  – собівартість, грн/рік ;

ОФ – основні фонди, грн/рік;

$A$  – амортизація основних фондів, грн/рік;

$\Pi$  – ціна на продукцію (послугу чи роботу), грн/рік;

$\Pi$  – прибуток, грн/рік;

$P$  – рентабельність, %;

$T_{\text{п}}$  – термін повернення капіталовкладень, років;

$E$  – коефіцієнт економічної ефективності, грн/грн;

ФВ – фондівіддача виробничих фондів, грн/грн;

ФЄ – фондоємність, грн/грн.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## Вступ

Комп'ютерне моделювання процесів дозволяє швидко і якісно проектувати підприємства, отримувати багатоваріантні проекти, досліджувати і досліджувати і автоматизувати технологічні параметри, розробляти ефективні системи автоматизації.

Сушіння матеріалів досить поширений технологічний процес. Немає ні однієї галузі промисловості, де б цей процес не мав місця. Видалення вологи з твердих та сипучих матеріалів дозволяє здешевити їх транспортування, надати їм необхідні властивості, наприклад, злежуваність і комкування, а також зменшити корозію апаратури при зберіганні або послідууючій переробці цих матеріалів.

Вологу можна видаляти з матеріалів механічними способами віджимом, відстоюванням, центрифугуванням і т.д.

Однак більш повне обезводнення досягається за допомогою теплового сушіння. Цей процес широко використовується в хімічній технології. Він часто являється останньою операцією на виробництві попередній випуску готової продукції.

В хімічних виробництвах, як правило, застосовується штучне сушіння матеріалів в спеціальних сушильних установках.

Основною метою технологічного процесу сушіння є забезпечення заданого значення вологості продукту, що сушиться, зі збереженням його якості.

Якість матеріалу що сушиться має обмеження. Оскільки якість продукту під час сушіння визначається температурою нагріву матеріалу і експозицією (видержкою), то ці параметри і є параметрами обмеження.

Метою дипломного проекту є комп'ютерний розрахунок основних технологічних параметрів сушк, розробка програмного модуля для проектного розрахунку сушильно-охолоджувальної установки та моделювання процесу, розробка схеми автоматизації процесу, економічні розрахунки та аналіз охорони праці.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. Аналіз технологічної схеми процесу сушки кристалічних матеріалів

## 1.1 Загальна характеристика процесу сушки

Сушіння – видалення рідини (вологи) з твердих, рідких і газоподібних матеріалів (продуктів, препаратів). Найчастіше рідиною, що видаляється є волога або леткі органічні розчинники [1].

Сушінням надають матеріалам певних властивостей, у багатьох випадках забезпечують їх тривале зберігання, виключають необхідність перевезення баласту. Часто сушіння є останнім етапом у процесі виробництва, що безпосередньо передує продажу або упакуванню продукції [1].

Сушіння супроводжується масо- і теплообміном між сушильним агентом (повітрям, топковими газами тощо) і вологою матеріалу. Сушіння – один з основних технологічних процесів, що знайшов застосування у хімічній, харчовій, деревообробній та ін. галузях промисловості, будівництві, сільському господарстві [1].

Зв'язок вологи з матеріалом може бути механічним, фізико-хімічним і хімічним [2].

Механічний зв'язок означає, що волога знаходиться у порах продукту і на його поверхні. Капілярно зв'язана волога заповнює макро- і мікрокапіляри. Вона механічно пов'язана з матеріалом і найлегше видаляється. Тиск пари над поверхнею матеріалу є тим меншим, чим міцнішим є зв'язок між водою і матеріалом. Найміцнішим цей зв'язок є у гігроскопічних речовин. Тиск пари над ними найбільше відрізняється від тиску насиченої пари [2].

Фізико-хімічний зв'язок вологи з матеріалом буває адсорбційним (волога утримується на внутрішній поверхні капілярів та пористості продуктів), осмотичним (вода пов'язана з матеріалом за рахунок сил осмотичного тиску) і структурним (вода утримується всередині клітин рослинного чи тваринного походження) [2].

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вологому матеріалу властиві всі форми зв'язку з водою, і дуже складно розмежувати періоди сушіння, що відповідають різним видам зв'язку молекул води з молекулами речовини. Тому експериментальним шляхом будують ізотерми сорбції при постійній температурі. Ізотерми сорбції дозволяють встановити зв'язок між вологістю матеріалу і відносною вологістю повітря, а також визначити рівноважну вологість при сушінні [2].

Існують методи сушіння така, як конвективне, контактне терморадіаційне.

При конвективному сушінні тепло передається від джерела теплової енергії до поверхні матеріалу, що піддається сушінню за допомогою теплоносія. Як теплоносії використовують повітря, інертні гази, димові гази, перегріту пару [3].

Фізична сутність процесу зводиться до видалення вологи з матеріалу за рахунок різниці парціальних тисків над матеріалом  $p_{pm}$  та в навколишньому середовищі  $p_{ps}$ . Процес сушіння відбувається за умови  $p_{pm} > p_{ps}$ . При вирівнюванні цих парціальних тисків настає рівновага і процес сушіння припиняється. Видалення вологи з поверхні тісно пов'язане з дифузією вологи всередині матеріалу до його поверхні. Ці два процеси повинні перебувати у строгій відповідності, в іншому випадку можливе пересихання, жолоблення поверхні матеріалу та погіршення його якості [3].

Таким чином, при конвективному сушінні волога переміщається до поверхні за рахунок градієнта вологості, градієнт температури дещо гальмує цей процес. За рахунок різниці температур на поверхні і всередині матеріалу відбувається рух вологи до середини, у напрямку зниження температури [3].

Рівноважна вологість, а значить і перебіг процесу конвективного сушіння залежать від властивостей матеріалу, що підлягає сушінню, характеру зв'язку з ним вологи і параметрів навколишнього середовища [3].

При контактному сушінні тепло матеріалу, що піддається сушінню передається через нагріту перегородку, що контактує з матеріалом [3].

При контактному сушінні термодифузія і дифузія за рахунок різниці концентрації вологи є однаково спрямованими, що сприяє деякій інтенсифікації

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесу на першому періоді сушіння. У другому періоді різниця температур зменшується, тому дещо знижується інтенсивність сушіння [3].

При сушінні інфрачервоними променями напрямки потоку вологи (градієнт вмісту вологи) і потоку тепла (градієнт температури) є протилежними, що дещо знижує швидкість сушіння у перший період. При поступовому прогріванні тіла волога переміщається всередину шару матеріалу, вміст вологи у віддалених від поверхні шарах зростає і виникає значний перепад вмісту вологи у тілі. До кінця періоду опромінення тіло прогрівається, перепад температур зменшується, волога рухається до поверхні і починає інтенсивно випаровуватись. Інтенсивність випаровування підвищується в десятки разів [3].

Реалізовані процеси сушіння обумовлюються вибором технологічних схем.

## 1.2 Загальна характеристика технологічної схеми процесу

На рис 1.1 представлена схема процесу сушки кристалічних матеріалів. Стрічковим конвеєром вологого кристалічного матеріалу 1, кристалічний матеріал вологість 0,8 % транспортується в завантажувальну тічку ковшового елеватора 2, котрий піднімає кристалічний матеріал на висоту близько 15 метрів. Продуктивність ковшового елеватора – 100 тонн кристалічного матеріалу на годину, тягові елементи його – корабельні ланцюги, ковші для транспортування кристалічного матеріалу виготовлені з нержавіючої сталі [4].

З верхньої головки елеватора кристалічний матеріал по закритому металевому жолобу потрапляє в розподільчу головку сушильно – охолоджувальної установки 3.

Вологий кристалічний матеріал поступає в центральний пучок ( 6 сушильних труб), створюючий сушильну камеру, через вхідний короб, який приймає гаряче повітря і обертає вхідну обечайку. За допомогою спіралі та направляючих ковшів вологий кристалічний матеріал рівномірно розподіляється в шести сушильних трубах.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

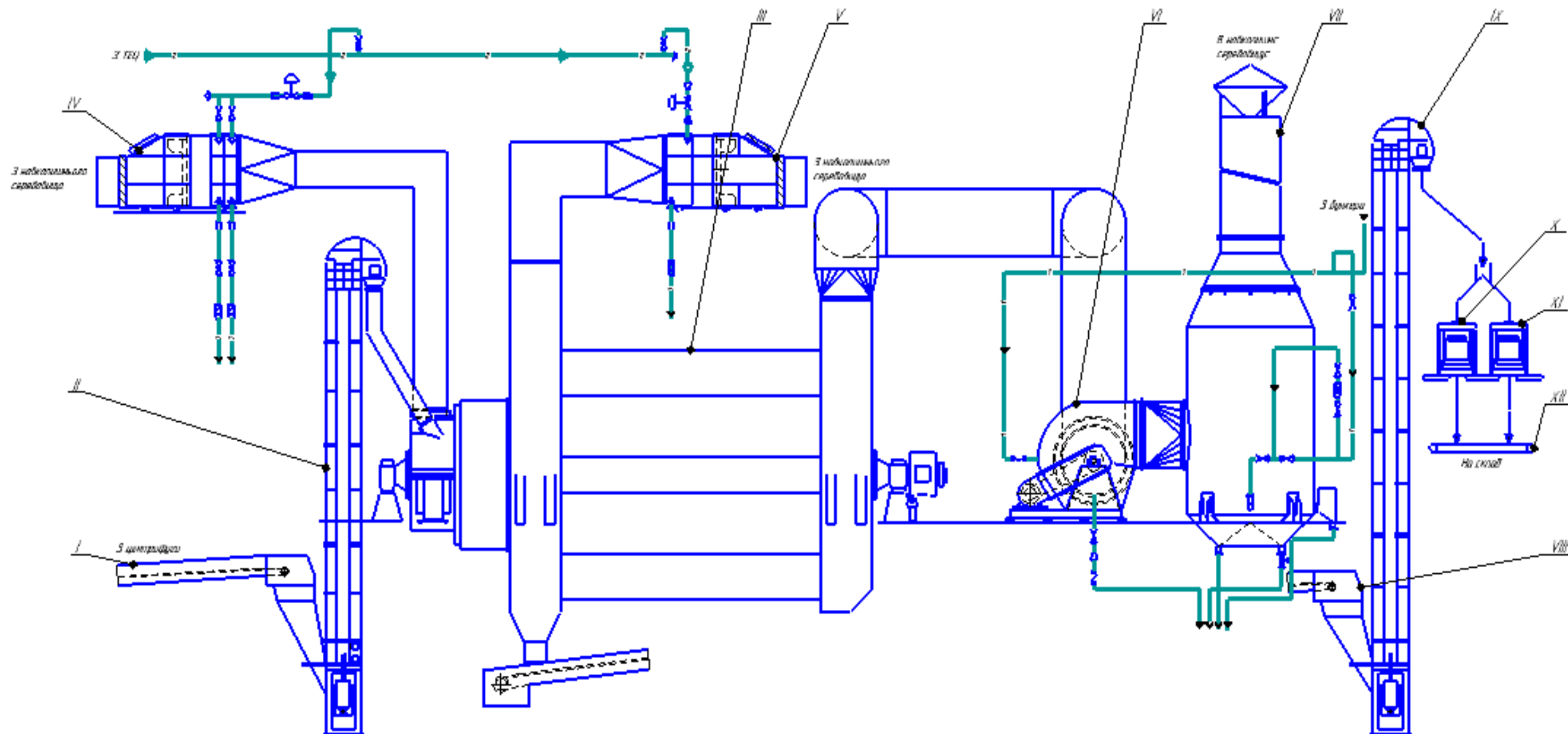


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу сушки кристалічних матеріалів:

I, VIII, XII – стрічковий конвеєр, II, XII – ковшовий елеватор, III – сушильно-охолоджувальна установка, IV, V – калорифер, VI – вентилятор, VII – скруббер, X, XI – комковідділювачі.

В сушильній частині теплообмін проходить в прямотоці, тобто кристалічний матеріал і гаряче повітря рухається в одному напрямку.

Досягнувши другого кінця пучка сушильної камери кристалічний матеріал через жолоби, з'єднуючі труби пучка сушильної камери з трубами пучка охолоджувальної камери, потрапляє в охолоджувальну частину. В охолоджувальних трубах (6 штук) кристалічний матеріал та холодне повітря рухається в противотоці.

В місцях забору повітря ззовні, або з середини приміщення, безпосередньо перед калориферами встановлені фільтри, екіпіровані фільтруючою тканиною, щоб забезпечити ефективне фільтрування повітря. Далі по напрямку руху повітря після тканинних фільтрів змонтовані кожухи з дозуючими жалюзійними пристроями для регулювання кількості повітря.

Нагрівання повітря, яке потрапляє в сушильні труби, здійснюється в паровому калорифері 4, в якості теплоносія використовується вторинна пара з випарної станції. Атмосферне повітря, що надходить в калорифер, проходить через спеціальний фільтр. Передбачена установка підігрівача холодного повітря 5, щоб одержати відносну вологість повітря для охолодження кристалічного матеріалу меншу 60% в холодну пору року шляхом нагрівання зовнішнього повітря на декілька градусів.

Змішане (відпрацьоване) повітря видаляється з сушарки через вихідний короб (короб змішаного повітря) і направляється в вузол пиловловлювання. Цей вузол працює з одним головний вентилятором 6, який всмоктує зовнішнє повітря, що надходить через калорифери і одночасно видаляє змішане відпрацьоване повітря в скрубєр 7.

Відцентровий вентилятор всмоктує зовнішнє повітря через фільтри, нагрівачі, яке далі потрапляє в сушильно – охолоджувальну установку. Вентилятор оснащений поворотними лопатями всмоктування для регулювання загального потоку повітря.

Вентилятор також оснащений внутрішньою мийкою для очистки лопатей робочого колеса під час роботи. На нижній точці спіралі вентилятора мається

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

виступ, призначений для виводу конденсата, що утворюється при роботі. Для попередження передачі вібрації на раму між шасі вентилятора і рамою монтажної конструкції встановлені антивібраційні шпильки.

Обезпилення відпрацьованого повітря з сушарки здійснюється у вихровому скрубєрі. Скрубєр складається з трьох секцій: секція вихрової промивки, секція накопичення, секція розділення.

Гази, що надходять в скрубєр з високою швидкістю, впливають на рідину, яка знаходиться в нижній частині, і визивають сильну турбулентність і змішування газу і рідини. Розчинні частинки безпосередньо вловлюються рідиною.

Такий сильний взаємовплив середовищ визиває появу туману, який поступає в секцію розділення. Під час цього руху самий мілкий пил прикріплюється до краплин рідини.

Направлені газом краплини призупиняються, проходячи через ножовий розподілювач. Дренажний вінець навкруги ножового розподілювача забезпечує повернення краплин в нижній бункер.

Рівень рідини у нижньому бункеру скрубєра підтримується постійним шляхом відлаженого переливу через боковий короб переливу.

Висушений та охолоджений кристалічний матеріал через балансуючий клапан висаджується на стрічковий конвеєр 8, який далі транспортує кристалічний матеріал в завантажувальну тічку елеватора сухого кристалічного матеріалу 9. Ковшовий елеватор піднімає кристалічний матеріал на висоту близько 17 метрів. З верхньої головки елеватора по жолобах кристалічний матеріал самостійно потрапляє на вібраційні комковідділювачі 10 і 11 відповідно. Далі просіяний кристалічний матеріал завантажується в накопичувальні бункери стрічковим конвеєром 12. З комковідділювачів непросіяні грудочки кристалічного матеріалу скидаються в апарат з мішалкою.

Основою для формування технологічної схеми процесу сушіння є вимоги до вологості матеріалу та його фізико хімічні властивості

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 2. Розрахунок матеріальних балансів процесу сушки

У даному розділі виконується комп'ютерний розрахунок матеріальних та теплових балансів процесу сушіння кристалічних матеріалів, визначення загальних та покомпонентних витрат, складів покомпонентних потоків.

### 2.1 Розрахунок матеріальних балансів

Метою складання матеріального балансу є визначення маси води  $W$ , що видаляється при сушінні матеріалу [5]:

$$W = G_{\text{п}} - G_{\text{к}}, \text{ кг води}$$

де  $G_{\text{п}}$  – маса вологого матеріалу кг/с,  $G_{\text{к}}$  – маса висушеного матеріалу кг/с.

По абсолютно сухій речовині в висушеному матеріалі матеріальний баланс виражається слідуючим рівнянням [5]:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{к}} \cdot \frac{100 - \omega_{\text{к}}}{100 - \omega_{\text{п}}}, \text{ кг}$$

де  $\omega_{\text{п}}$ ,  $\omega_{\text{к}}$  – початкова і кінцева вологість матеріалу відповідно, %.

Для визначення потрібної кількості повітря по І-х діаграмі знаходимо вологовміст повітря на вході в калорифер і на виході з нього.

Матеріальний баланс по воді має вигляд [5]:

$$L \cdot x_0 + W = L \cdot x_1$$

де  $L$  – витрати сухого повітря, кг/с,  $x_0, x_1$  – вологовміст перед калорифером і після калорифера, кг води/ кг сухого матеріалу.

З рівняння балансу визначаємо витрату сухого повітря на сушку [5]:

$$L = \frac{W}{x_0 - x_1}, \text{ кг}$$

Для визначення потрібної кількості повітря для охолодження [6]:

$$L = \frac{0,25 \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{(0,24 + 0,47 \frac{d_0}{1000}) \cdot (t_2 - t_1)}$$

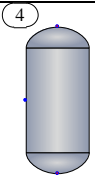

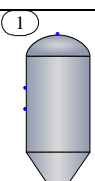
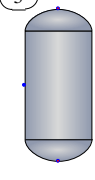
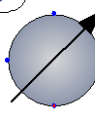
					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\theta_2, \theta_1$  – температура кристалічного матеріалу перед охолодженням і після охолодження відповідно,  $t_2, t_1$  – температура повітря після охолодження і перед охолодженням,  $d_0$  – вологовміст повітря перед охолодженням. Результати розрахунку наведено в додатку А.

Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів виконано в середовищі ChemCad 7.1. Схема представлена на рис 2.1. Під час розрахунку матеріального балансу в схему включались: сушильно – охолоджувальна установка і основний калорифер.

Під час розробки схеми було обрано відповідні апарати, які найбільш точно відображають властивості реальних апаратів. Список блоків наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.1 – Список використаних апаратів при розробці схеми

Назва блоку	Апарат	Зобр. моделі	Вхідні потоки	Вихідні потоки
Component separator (1)	Сепаратор		Вологе повітря	Повітря, конденсат
Heat exchanger (2)	Теплообмінник		Повітря	Повітря
Dryer (4)	Сушилка		Повітря, кристалічний матеріал	Повітря, кристалічний матеріал
Component separator (4)	Сепаратор		Вологе повітря	Повітря, конденсат
Heat exchanger (5)	Холодильник		Повітря, кристалічний матеріал	Повітря, кристалічний матеріал

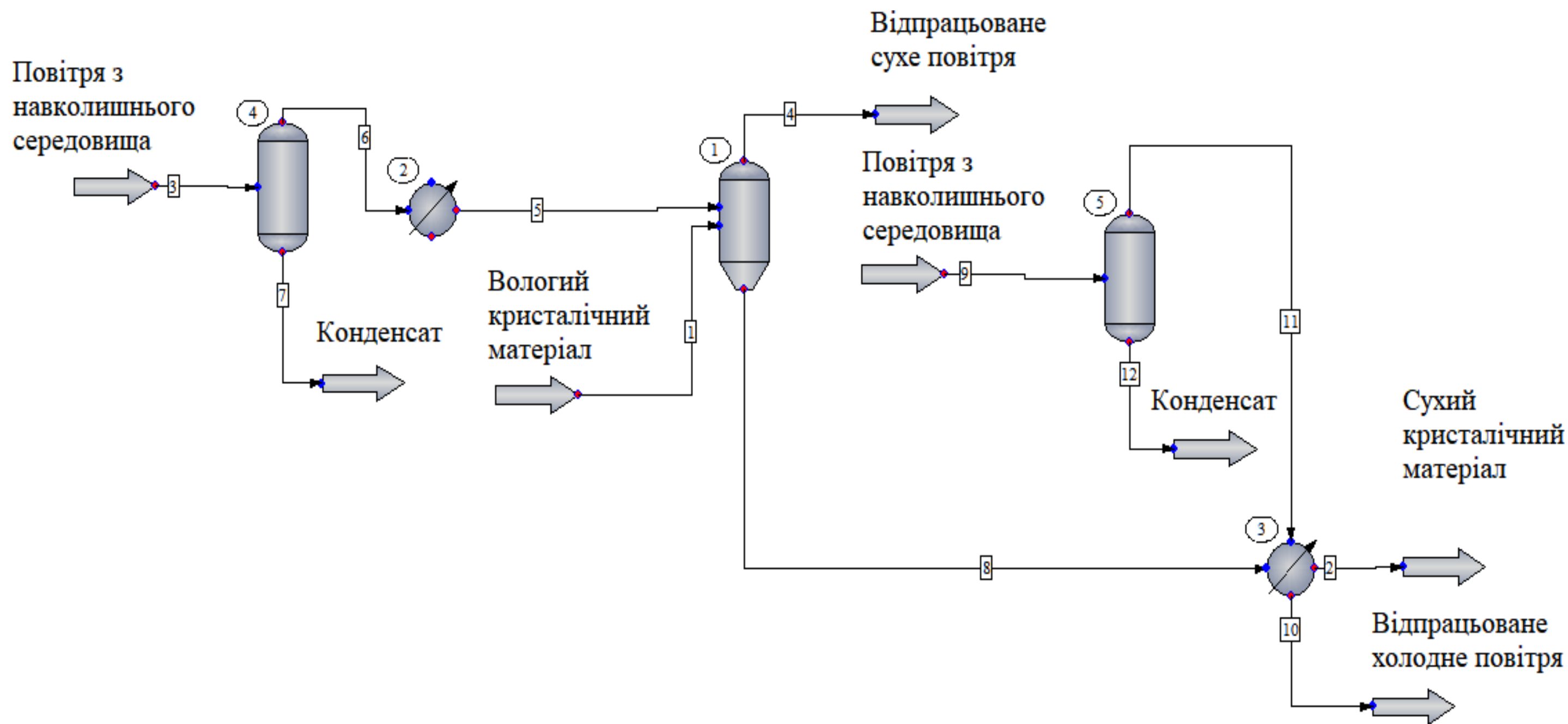


Рисунок 2.1 – Схема процесу сушки кристалічних матеріалів в ChemCad 7.1

Були використані наступні блоки бібліотеки моделей:

- Heat exchanger – теплообмінний апарат. Використовується для теплообмінних процесів.
- Dryer – сушильний апарат. Висушує кристалічний матеріал до потрібної вологості.
- Component separator - сепаратор. Використовується для розділення потоків.

Для більш зручного представлення витрати повітря, зроблений перерахунок повітря для сушіння та охолодження кристалічного матеріалу з кг/год на м<sup>3</sup>/год.

1) Перерахунок повітря для сушіння матеріалу:

- витрата повітря для сушіння матеріалу становить 51 270 кг/год
- густина повітря при температурі 20 °С становить 1,164 кг/м<sup>3</sup>
- об'ємна витрата повітря для сушіння матеріалу становить [7]:

$$V_{\text{пов}} = \frac{51\,280}{1,164} = 44\,050 \text{ м}^3/\text{год}$$

2) Перерахунок повітря для охолодження кристалічного матеріалу:

- витрата повітря для охолодження матеріалу становить 115 100 кг/год
- густина повітря при температурі 20 °С становить 1,164 кг/м<sup>3</sup>
- об'ємна витрата повітря для охолодження матеріалу становить [7]:

$$V_{\text{пов}} = \frac{115\,000}{1,164} = 98\,860 \text{ м}^3/\text{год}$$

В таблиці 2.2 наведений загальний матеріальний баланс по вхідним і вихідним потокам.

Таблиця 2.2 – Матеріальний баланс по вхідним і вихідним потокам

Компонент потоку		Вхідні потоки	Вихідні потоки
Повітря для сушіння та охолодження кристалічного матеріалу	Сухе повітря	166 270 (кг/год) 142 910 (м <sup>3</sup> /год)	166 270 (кг/год) 142 910 (м <sup>3</sup> /год)
	Водяні пари	1 569 (кг/год)	2 229 (кг/год)

Вологий кристалічний матеріал	Матеріал	100 000 (кг/год)	100 000 (кг/год)
	Вода	800 (кг/год)	140 (кг/год)
Сума:		268 739 (кг/год)	268 739 (кг/год)

В таблицях 2.3-2.5 представлені матеріальні баланси апаратів.

Таблиця 2.3 – Матеріальний баланс сепаратора 4 (кг/год)

Компонент потоку		Вхідні потоки	Вихідні потоки
Повітря для сушіння кристалічного матеріалу	Сухе	51 270 (кг/год)	51 270 (кг/год)
	повітря	44 050 (м³/год)	44 050 (м³/год)
	Водяні пари	485 (кг/год)	24,25 (кг/год)
Конденсат (вода)		0 (кг/год)	460,75 (кг/год)
Сума:		51 755 (кг/год)	51 755 (кг/год)

В таблиці 2.4 представлено матеріальний баланс для сушильної камери.

Таблиця 2.4 – Матеріальний баланс сушильної камери (кг/год)

Компонент потоку		Вхідні потоки	Вихідні потоки
Повітря для сушіння кристалічного матеріалу	Сухе	51 270 (кг/год)	51 270 (кг/год)
	повітря	44 050 (м³/год)	44 050 (м³/год)
	Водяні пари	24,25 (кг/год)	659,8 (кг/год)
Вологий кристалічний матеріал	Матеріал	100 000 (кг/год)	100 000 (кг/год)
	Вода	800 (кг/год)	140 (кг/год)
Сума:		152 094,25	152 094,25

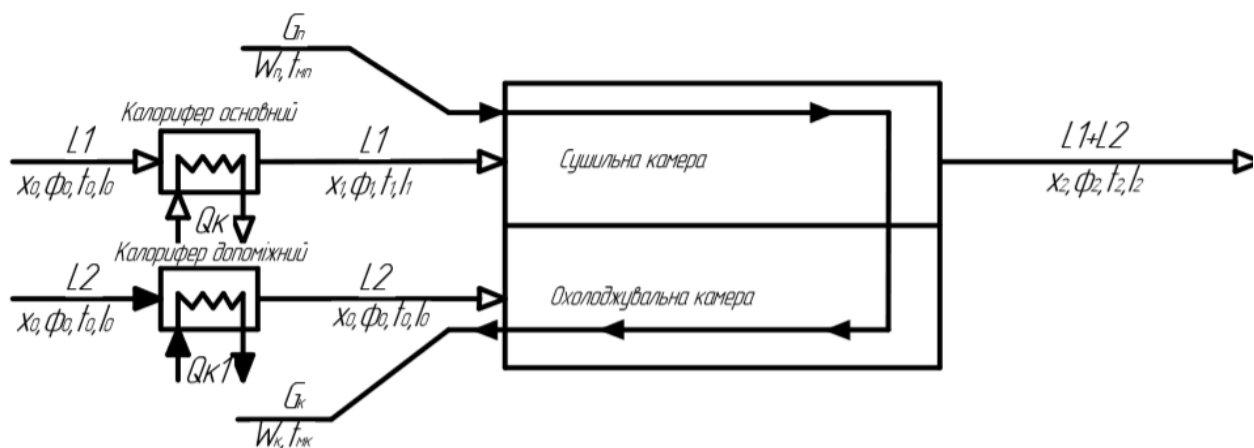
Таблиця 2.9 – Матеріальний баланс сепаратора 5 (кг/год)

Компонент потоку		Вхідні потоки	Вихідні потоки
Повітря для охолодження кристалічного матеріалу	Сухе повітря	115 000 (кг/год)	115 000 (кг/год)
		98 860 (м³/год)	98 860 (м³/год)
	Водяні пари	1084 (кг/год)	54,2 (кг/год)
Конденсат (вода)		0 (кг/год)	1029,8 (кг/год)
Сума:		116 184 (кг/год)	116 184 (кг/год)

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що матеріальний баланс процесу сушіння кристалічного матеріалу в спеціалізованому середовищі ChemCad 7.1 розрахований вірно. Результати розрахунків приведені у додатку Б.

## 2.2 Розрахунок теплових балансів

Для складання теплового балансу конвективної сушарки безперервної дії скористаємось її принциповою схемою [5]:



Рисисунок 2.2 – Принципова схема конвективної сушарки

На сушарку поступає  $G_{\text{п}} = 27,974$  кг/с вологого кристалічного матеріалу, який має температуру  $T_{\text{мп}} = 65$  °С. В сушарці з матеріалу випарюється волога  $W = 0,196$  кг/с води і з сушарки видаляється  $G_{\text{к}} = 27,778$  кг/с висушеного матеріалу при температурі  $T_{\text{мк}} = 25$  °С.

1) Питома теплоємність матеріалу  $c_m = 1\,407 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ .

2) Питома теплоємність води (води)  $c_v = 4\,190 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ .

В сушарку подається повітря для сушіння кристалічного матеріалу, що містить  $L1 = 14,24 \text{ кг/с}$  абсолютно сухого повітря та для охолодження, що містить  $L2 = 31,94 \text{ кг/с}$  абсолютно сухого повітря.

Ентальпію визначаємо з I-d діаграми [5].

Перед калорифером повітря має ентальпію  $I0 = 47\,000 \text{ Дж/кг}$ , після нагріву, тобто на вході в сушарку.

В процесі сушки в результаті передачі тепла матеріалу, поглинанням води з матеріалу і втрат тепла в навколишнє середовище ентальпія змінюється і на виході з сушарки ентальпія відпрацьованого повітря дорівнює  $I2 = 113\,000 \text{ Дж/кг}$ .

При складанні теплового балансу значимо, що в нашій конструкції сушарки відсутні допоміжні транспортні пристрої для переміщення матеріалу (напр. вагонетки і т.д.) [5].

Згідно схеми тепло  $Q_k$  підводиться в калорифер встановлений перед сушаркою. Приймаємо варіант, що в калорифер тепло  $Q_{k2}$  не підводиться [5].

Тоді з врахуванням втрат тепла сушаркою в навколишнє середовище  $Q_{втр}$  маємо тепловий баланс для сушки представлений в таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Тепловий баланс

Вхід	Вихід
З повітрям для сушіння $L1 \cdot I0 = 669\,300 \text{ Дж}$	З відпрацьованим повітрям $(L1 + L2) \cdot I2 = 5\,018\,000 \text{ Дж}$
З повітрям для охолодження $L2 \cdot I0 = 1\,501\,000 \text{ Дж}$	З висушеним матеріалом $G_k \cdot c_m \cdot T_{mk} = 10\,650\,000 \text{ Дж}$
З вологим матеріалом, в тому числі з абсолютно сухим матеріалом $G_k \cdot c_m \cdot T_{мп} = 13\,156\,000 \text{ Дж}$	Витрати тепла в атмосферу $Q_{втр} = 71\,090 \text{ Дж}$
В основному калорифері $Q_k = 1\,185\,000 \text{ Дж}$	

З вологою що випаровується з матеріалу $W \cdot c_B \cdot T_{\text{мп}} = 277\,600 \text{ Дж}$	
Сума: 15 738 900 Дж	Сума: 15 738 900 Дж

При сталому процесі сушки тепловий баланс виражається рівнянням [5]:

$$L1 \cdot I0 + L2 \cdot I0 + G_K \cdot c_M \cdot T_{\text{мп}} + W \cdot c_B \cdot T_{\text{мп}} + Q_K = \\ = (L1 + L2) \cdot I2 + G_K \cdot c_M \cdot T_{\text{мк}} + Q_{\text{втр}}$$

З цього рівняння визначаємо загальну витрату тепла  $Q_K$  на сушку. Витрати тепла в навколишнє середовище становлять 6% [5].

$$Q_K - 0,06 \cdot Q_K = (L1 + L2) \cdot I2 + G_K \cdot c_M \cdot T_{\text{мк}} - L1 \cdot I0 - L2 \cdot I0 - G_K \cdot c_M \cdot T_{\text{мп}} - \\ - W \cdot c_B \cdot T_{\text{мп}}$$

Отже:

$$Q_K = \frac{(L1 + L2) \cdot I2 + G_K \cdot c_M \cdot T_{\text{мк}} - L1 \cdot I0 - L2 \cdot I0 - G_K \cdot c_M \cdot T_{\text{мп}} - W \cdot c_B \cdot T_{\text{мп}}}{0,94} = \\ = 1185000 \text{ Дж/с}$$

Витрати пари на калорифер знаходимо за формулою [5]:

$$D = \frac{Q_K}{i - t_{\text{кон}}}$$

де  $i$  – теплоємність, яка визначається по таблицях Вакуловича [5],  $t_{\text{кон}}$  – температура конденсату.

$$D = \frac{1185000}{648,3 - 124} = 2\,261 \text{ кг/год}$$

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що тепловий баланс процесу сушіння кристалічного матеріалу розрахований вірно.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



### 3 Комп'ютерний розрахунок сушильно-охолоджувальної установки

Метою даного розділу є проектування сушильно-охолоджувальної установки. Сушарка складається з двох камер: сушильної і охолоджувальної. Отже математичні моделі підбираються для двох камер.

#### 3.1 Математичне забезпечення обчислювального модуля

Математичне моделювання є одним із основних сучасних методів дослідження. Математичне моделювання включає три взаємопов'язаних етапи:

- складання математичного опису досліджуваного об'єкту;
- вибір методу вирішення системи рівнянь математичного опису і реалізації його у формі програми;
- встановлення відповідності (адекватності) моделі об'єкту [8].

Сушкою називають процес видалення вологи з різних матеріалів шляхом підвода теплоти [8].

В процесі сушки високовологих крупнопористих матеріалів із незначною енергією зв'язку вологи з матеріалом швидкість видалення вологи може бути прийнята постійною до досягнення матеріалом рівноважного вологовмісту. При цьому температура шару матеріалу та сушильного агенту, що покидають сушку, буде близька до адіабатичної температури насичення вхідного потоку сушильного агенту (температурі мокрого термометру) [9].

З урахуванням основних допущень:

- 1) потік рівномірно розподіляється по всьому об'єму, що займає теплоносій;
- 2) сушильний агент та матеріал рухаються в режимі ідеального витіснення;
- 3) температура сушильного агенту, що виходить з апарату дорівнює температурі мокрого термометру;
- 4) швидкість видалення вологи з матеріалу постійна;

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 5) все тепло, що передається від сушильного агенту поверхні вологого матеріалу витрачається на випаровування води;
- 6) щільності та теплоємності середовищ постійні в області робочих температур;
- 7) втрати в навколишнє середовище не враховуються.

Математичну модель процесу сушки можна представити як [9]:

$$\begin{cases} -G_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot \frac{dT}{dh} = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d} \cdot \alpha \cdot (T - T_{\text{м}}) \cdot S \\ V \cdot \rho \cdot q \cdot \frac{du}{dh} = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d} \cdot \alpha \cdot (T - T_{\text{м}}) \cdot S \end{cases}$$

Початкові умови:

$$T(h=0)=T_{\text{вх}}, u(h=N)=u_{\text{вх}},$$

де  $\frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d}$  - поверхня монодисперсних сферичних часток, що приходить на одиницю висоти шару матеріалу;  $d$  - діаметр часток, м;  $V$ - витрата матеріалу, м<sup>3</sup>/год;  $G_{\Gamma}$  - масова витрата сушильного агенту, кг/год;  $T$  - температура сушильного агенту, °C;  $T_{\text{м}}$  - температура мокрого термометру, °C;  $S$  - площа поперечного перетину апарату, м<sup>2</sup>;  $h$  - координата висоти апарату, м;  $u$  - вміст води в матеріалі, кг води/кг; сухого матеріалу;  $q$  - питома теплота випаровування, кДж/кг;  $c_{\Gamma}$  - теплоємність сушильного агенту, кДж/(кг·°C);  $\alpha$ - коефіцієнт тепловіддачі від сушильного агенту до матеріалу, кДж/(м<sup>2</sup>·год·°C);  $\rho$ - густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  - порозність шару матеріалу.

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі застосовують емпіричні рівняння, які встановлюють залежність критерія Нуссельта [10]:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda},$$

від критерія Рейнольдса [10]:

$$Re = \frac{v \cdot d_e}{\nu},$$

де  $v$  - середня швидкість повітря,  $l$  - визначальний лінійний розмір. Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , кінематичний коефіцієнт в'язкості  $\nu$ , питому

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

теплоємність  $C$ , і величину критерія Прандтля  $Pr$ , вибирають по таблиці фізичних властивостей повітря при середній температурі сушильного агента. Для знаходження еквівалентного діаметра каналу використовуємо формулу [10]:

$$d_e = \frac{4 \cdot S}{\Pi}, \text{ м}$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу труби,  $\Pi$  – змочений периметр труби.

Середню температуру сушильного агента знаходять за формулою [10]:

$$t_{cp} = \theta_m + \Delta t_{cp}, ^\circ\text{C}$$

Середній температурний напір вираховується за формулою [10]:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_6 - \Delta t_m)}{\lg\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)}, ^\circ\text{C}$$

Для розрахунку  $\Delta t_{cp}$  знаходять температурні напори на вході сушильного агента і на виході із нього [10]:

$$\Delta t_6 = t_1 - \theta_m, ^\circ\text{C} \quad \Delta t_m = t_2 - \theta_m, ^\circ\text{C}$$

де  $t_1, t_2$  – температури сушильного агента на вході в сушилку і на виході з неї.

Коефіцієнт тепловіддачі до частинок матеріалу можна розрахувати за формулою [10]:

$$Nu = 2 + 1,05 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175}$$

Визначальним лінійним розміром є діаметр частинок матеріалу. Якщо частинка матеріалу має неправильну форму, то за визначальний лінійний розмір можна приблизно приймати середньогометричну величину [10]:

$$l = \sqrt{l_{max} \cdot l_{min}}, \text{ м}$$

де  $l_{max}, l_{min}$  – найбільший і найменший розмір куска матеріалу.

Критерій Гуфмана  $Gu$  введений в рівняння, враховує вплив масообміну на теплообмін [10]:

$$Gu = \frac{(t_{cp} - t_m)}{(273 + t_{cp})}$$

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

де  $t_{cp}$  – середня температура газу, °C,  $t_m$  – температура мокрого термометра, °C.

Коефіцієнт тепловіддачі [10] :

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Зроблений конструктивний розрахунок дає можливість виконати розрахунок процесу масообміну в сушильній камері з використанням математичної моделі. Рішенням математичної моделі буде значення температури в залежності від висоти (рис. 3.1а), а також зміна значення вологості в залежності від висоти (рис. 3.1б) в трубах сушильної камери.

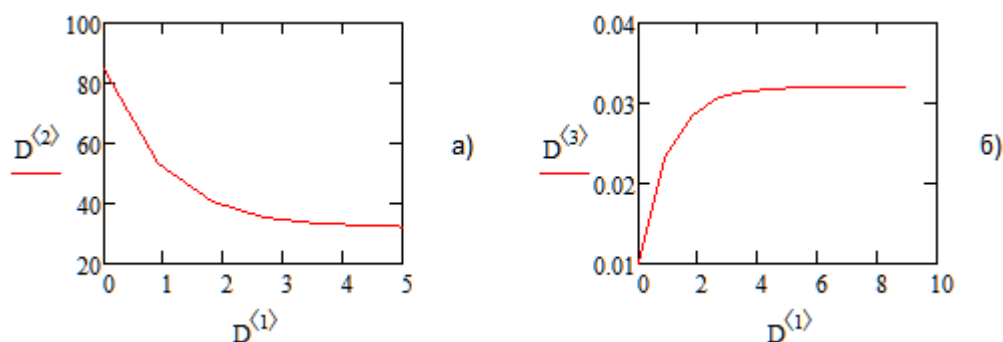


Рисунок 3.1 – Зміна значень в залежності від висоти: а) – температури, б) – вологості.

В охолоджувальній камері відбувається процес охолодження кристалічного матеріалу охолоджувальним агентом (повітрям) до температури 25 °C.

Математичне моделювання охолоджувальної камери для охолодження кристалічного матеріалу проводиться з урахуванням наступних допущень [11]:

- 1) коефіцієнт тепловіддачі постійний по всій поверхні теплообміну;
- 2) витрати в навколишнє середовище не враховуються;
- 3) режим першого і другого теплоносія – режим ідеального витіснення;

Враховуючи вихідні дані та припущення обираємо модель ідеального витіснення [11]:

$$\begin{cases} S_1 \cdot c_{T1} \cdot \frac{dT_1}{dt} = -v_1 \cdot c_{T1} \cdot \frac{dT_1}{dl} \cdot \frac{F}{L} \cdot K \cdot (T_1 - T_2) \\ S_2 \cdot c_{T2} \cdot \frac{dT_2}{dt} = \pm v_2 \cdot c_{T2} \cdot \frac{dT_2}{dl} + \frac{F}{L} \cdot K \cdot (T_1 - T_2) \end{cases}$$

де  $S_1, S_2$  – площі поперечних перерізів, що займають теплоносії,  $m^2$ ;  $c_{T1}, c_{T2}$  – теплоємності відповідних теплоносіїв,  $Дж/м^3 \cdot ^\circ C$ ;  $L$  – довжина апарата,  $m$ ;  $l$  – координата довжини,  $m$ ,  $T_1, T_2$  – початкові температури гарячого та холодного теплоносіїв відповідно,  $^\circ C$ ,  $K$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $Дж/м^2 \cdot год \cdot ^\circ C$ ,  $v_1, v_2$  – швидкості руху речовин,  $м/год$ ,  $t$  – координата часу,  $год$ .

Оскільки теплообмінник працює в статичному режимі, то параметри  $T_1, T_2$  будуть змінюватися тільки по довжині і математична модель може бути записана у вигляді [11]:

$$\begin{cases} -v_1 \cdot c_{T1} \cdot \frac{dT_1}{dl} - \frac{F}{L} \cdot K \cdot (T_1 - T_2) = 0 \\ v_2 \cdot c_{T2} \cdot \frac{dT_2}{dl} + \frac{F}{L} \cdot K \cdot (T_1 - T_2) = 0 \end{cases}$$

Граничні умови відповідають протиточному руху теплоносіїв: при  $l=0$ ,  $T_1(0) = T_{1п}$ , при  $l = L$ ,  $T_2(L) = T_{2п}$ . Записані рівняння дозволяють розрахувати розподіл температур по довжині ТОА (так званий температурний профіль), а також температуру кожного теплоносія на виході з апарату  $T_{1к}, T_{2к}$ . Можна одержати аналітичне рішення цих рівнянь при крайових умовах  $T_1(0)=T_{1п}$ ,  $T_2(L)=T_{2п}$ , чисельними методами із застосуванням ЕОМ[11].

Для знаходження коефіцієнта тепловіддачі можна скористатись рівнянням [12]:

$$K = B \cdot \frac{(\rho \cdot v)^{0,8}}{d^{0,2}} \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$$

де  $B$  – коефіцієнт (знаходиться по таблиці [12]),  $\rho$  – густина охолоджувального агенту,  $v$  – швидкість охолоджувального агенту,  $d$  – діаметр труби.

Після того як зроблений конструктивний розрахунок, виконуємо розрахунок процесу теплообміну в охолоджувальній камері з використанням математичної моделі. Рішенням математичної моделі буде значення температур речовин в залежності від довжини труб в охолоджувальній камері (рис. 3.2).

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

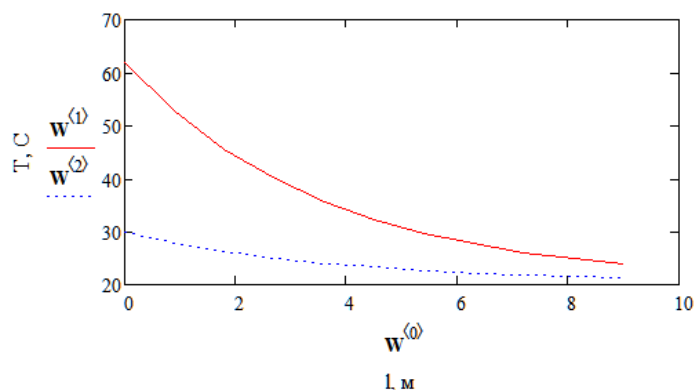


Рисунок 3.2 – Графік розподілу температур по довжині охолоджувальної камери

Розрахунки проводилися в програмі MathCAD, і представлені в додатку Г. Для зручнішого представлення даних розрахунку був розроблений програмний модуль на мові C++ в середовищі MS Visual Studio 2017, який розраховує коефіцієнти тепловіддачі та вирішує математичні моделі для сушильної та охолоджувальної камер.

### 3.2. Технічне завдання на розробку обчислювального модуля

Розрахунковий модуль призначений для комп'ютерного моделювання процесу сушіння кристалічного матеріалу в сушильно-охолоджувальній установці.

Вихідними даними для розрахунку є:

1. Діаметр сушильних труб, м;
2. Діаметр охолоджувальних труб, м;
3. Кількість сушильних та охолоджувальних труб, шт;
4. Об'ємна витрата сушильного агента,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;
5. Об'ємна витрата охолоджувального агента,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;
6. Температура сушильного та охолоджувального агента на вході в апарат,  $^{\circ}\text{C}$ ;
7. Температура сушильного та охолоджувального агента на виході з апарату,  $^{\circ}\text{C}$ ;

8. Теплоємність кристалічного матеріалу, Дж/м<sup>3</sup>·°С ;
9. Теплоємність сушильного та охолоджувального агентів, Дж/м<sup>3</sup>·°С;
10. Лінійний розмір частинки (максимальний і мінімальний), м;
11. Вміст вологи в матеріалі, кг вологи/кг сухого повітря;
12. Довжина апарату, м.

Вимоги до програмного модулю:

1. Наявність більше ніж однієї форми для зручного представлення результатів;
2. Наявність полів для вводу даних користувачем;
3. Наявність довідки для зручного розуміння процесу;
4. Наявність загальної інформації про процес;
5. Програмний модуль повинен виводити отримані розрахунки на форму;
6. Програмний модуль повинен будувати графічні залежності;
7. Наявність меню та кнопок для зручнішої роботи в програмі.

Середовище для реалізації розрахункового модуля MS Visual Studio 2017.

### 3.3 Програмний модуль для моделювання процесу сушки кристалічних матеріалів

Відповідно до технічного завдання розроблено алгоритм обчислювального модуля (рис 3.3). Програмний код обчислювального модуля розроблено в середовищі Visual Studio C# (Додаток В).

Структура обчислювального модуля:

Файли форм:

- 1) MyForm1.h
- 2) MyForm2.h
- 3) MyForm3.h
- 4) MyForm2.h
- 5) MyForm2.h

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

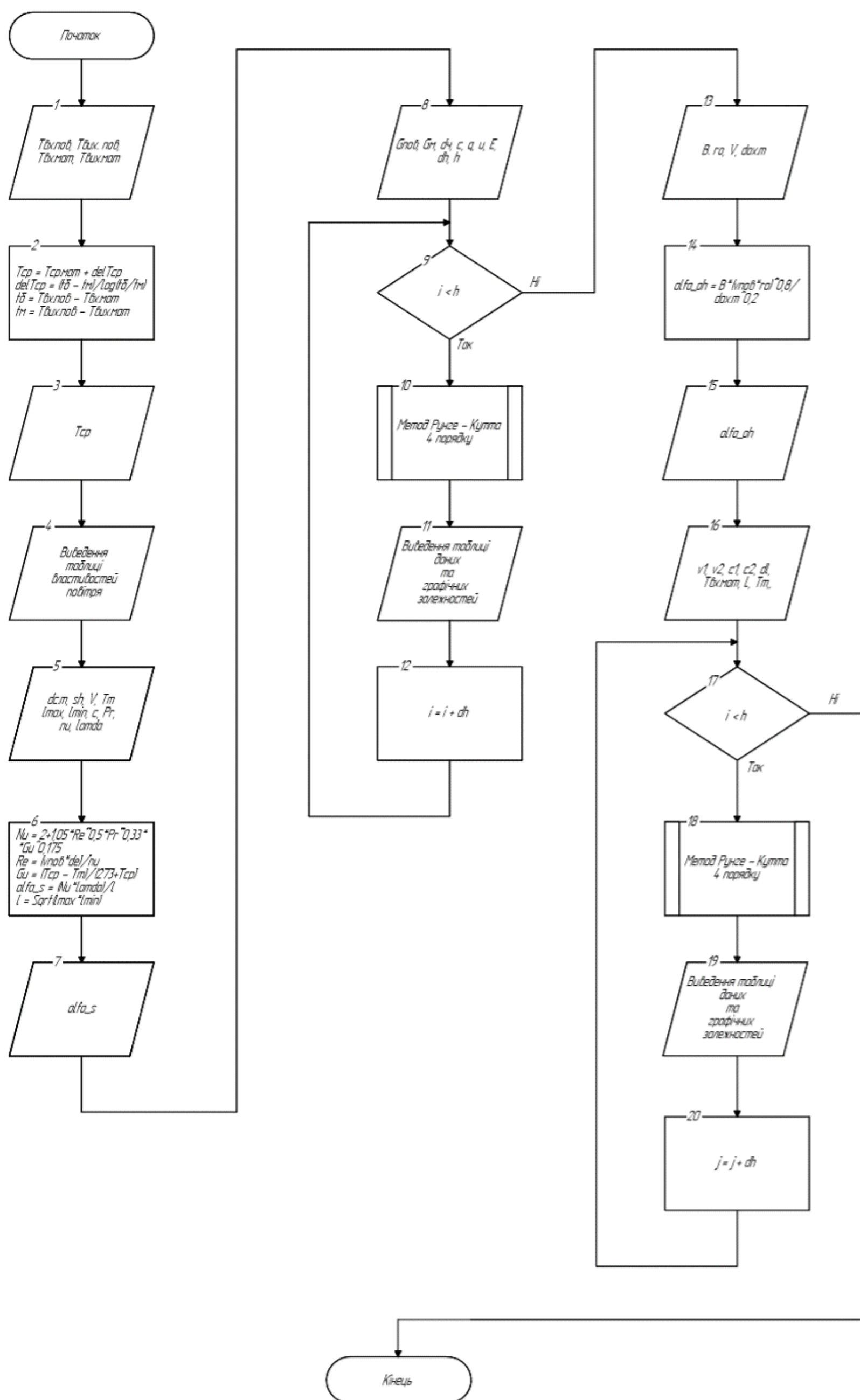


Рисунок 3.3 Алгоритм обчислювального модуля



Файл проекту – Diploma.

Основні елементи обчислювального модуля наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні елементи обчислювального модуля

Елемент	Назва	Призначення
Форма (Form)	MyForm1.h	Головна форма початку роботи програми
Кнопки Button	button_zi, button_shema, button_roz, button_dov	Кнопки для переходу на інші форми
Форма (Form)	MyForm4.h	Загальна інформація
Форма (Form)	MyForm5.h	Довідка для користувача
Форма (Form)	MyForm3.h	Проектування технологічного апарату
Форма (Form)	MyForm3.h	Проектування технологічного апарату
Рисунок PictureBox	picturebox1 – picturebox8	Представлення графічних матеріалів (технологічна схема, схема в CHEMCAD, довідкова інформація)
Вкладки tabControl1	tabPage1, tabPage2, tabPage3,	Форма для введення вхідних даних та виведення вихідних даних
Вкладки tabControl2	tabPage1, tabPage2, tabPage3,	Форма для представлення технологічної схеми

Таблиця dataGridView	dataGridView1, dataGridView2	Представлення результатів розрахунку у вигляді таблиці
Заголовки Label	label	Текстова мітка
Текстові поля TextBox	textBox	Введення вхідних даних та виведення розрахованих значень параметрів сушильно – охолоджувальної установки
Текстові поля RichTextBox	richTextBox1 richTextBox2	Виведення проміжних даних та опису технологічної схеми
Графіки Chart	chart1, chart2, chart3	Представлення розрахованих графічних залежностей

Розроблений програмний модуль містить в собі наступні обробники подій:

Таблиця 3.2 – Обробники подій обчислювального модуля

Назва процедури	Призначення
shema_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для переходу на форму з тенологічною схемою
rozrahunok_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для переходу на форму проектування технологічного апарату
Dovidka_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для переходу на форму із загальною інформацією

Instruction_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для переходу на форму із довідкою для користувача
button3_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі сушильної камери
button4_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі охолоджувальної камери
button1_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для розрахунку середньої температури
розрахунокСушильноїКамериToolStripMenuItem_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для рішення математичної моделі сушильної камери
cold_box_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для рішення математичної моделі охолоджувальної камери
вихідToolStripMenuItem_Click	Обробляє натиск користувачем на кнопку для повернення на головну форму

Програмний модуль можна використовувати для перевірки розрахунку будь-якої багатотрубною сушильно-охолоджувальної установки.

Код розробленого програмного модуля приведений в Додатку Г.

### 3.4 Інструкція користувача програмного продукту

Програмний модуль призначений для розрахунку багатотрубною суильно-охолоджувальної установки, процесу сушки кристалічних матеріалів.

Головне вікно програми наведено на рисунку 3.4.

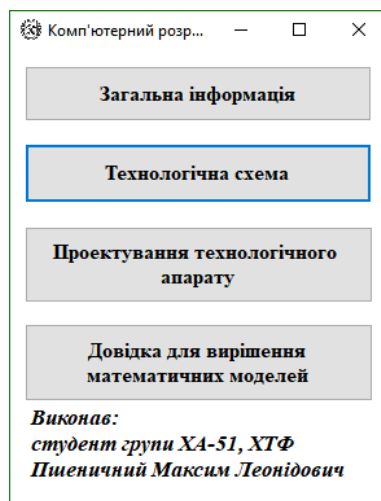


Рисунок 3.4 – Головне вікно програми

При натисканні на кнопку «Загальна інформація» користувач переходить на форму де знаходяться дані про процес який відбувається.

При натисканні на кнопку «Технологічна схема», користувач переходить на форму де знаходяться зображення технологічної схеми виробництва, опису технологічної схеми та схеми побудованої в середовищі ChemCAD (Рис. 3.5).

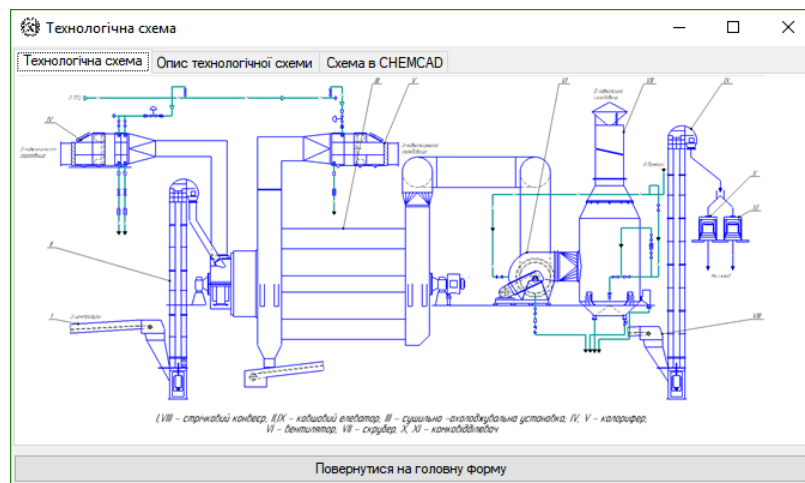


Рисунок 3.5 – Технологічна схема процесу сушіння кристалічного матеріалу

При натисканні на кнопку «Довідка для вирішення математичних моделей», користувач переходить на форму де знаходяться математичні моделі для

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

сушильної і охолоджувальної камери, а також критеріальні рівняння для знаходження коефіцієнта тепловіддачі сушильної камери і рівняння для знаходження коефіцієнта тепловіддачі для охолоджувальної камери (Рис 3.6.)

**Довідкові дані для рішення математичних моделей**

**Математична модель для сушильної камери**

$$\begin{cases} -G_r \cdot c_r \cdot \frac{dT}{dh} = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d} \cdot \alpha \cdot (T - T_n) \cdot S \\ V \cdot \rho \cdot q \cdot \frac{du}{dh} = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d} \cdot \alpha \cdot (T - T_n) \cdot S \end{cases}$$

Початкові умови:  
 $T(h=0) = T_{\text{вх}}$ ,  $u(h=N) = u_{\text{вх}}$

**Математична модель для охолоджувальної камери**

$$\begin{cases} -v_1 \cdot c_{T1} \cdot \frac{dT_1}{dl} - \frac{F}{L} \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_2) = 0 \\ v_2 \cdot c_{T2} \cdot \frac{dT_2}{dl} + \frac{F}{L} \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_2) = 0 \end{cases}$$

Граничні умови:  
 $T_1(0) = T_{1п}$ , при  $l = L$ ,  $T_2(L) = T_{2п}$

**Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі для сушильної камери**

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$$

**Критеріальні рівняння (критерій Рейнольдса, Нусельта, Гуфмана)**

$$Re = v \cdot d_e / \nu$$

$$Nu = 2 + 1,05 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175}$$

$$Gu = \frac{(t_{cp} - t_n)}{(273 + t_{cp})}$$

Повернутися до головної форми

Рисунок 3.6 – Довідкові дані для вирішення математичних моделей

При натисканні на кнопку «Проектування технологічного апарату», користувач переходить на форму де знаходяться вкладка для проектування апарату.

Вкладка «Розрахунок коефіцієнтів» являє собою форму для введення вхідних даних користувачем та представлення розрахованих коефіцієнтів тепловіддачі (рис. 3.7).

Користувачу потрібно ввести дані в поля і після чого програма після натискання відповідної кнопки розрахує коефіцієнти.

**Проектування технологічного апарату**

Файл Ввести стандартні дані Повернутися до головної форми

Розрахунок коефіцієнтів Рішення математичної моделі сушильної камери Рішення математичної моделі охолоджувальної камери

**Розрахунок коефіцієнта теплопередачі для сушильної камери**

Діаметр сушильної труби, d 1,3

Кількість труб, шт 6

Об'єм витрати сушильного агента, V 44050

Температура сушильного агента на вхід в апарат, Т<sub>вх</sub>, °C 85

Температура сушильного агента на вихід з апарату, Т<sub>вих</sub>, °C 62

Температура кристалічного матеріалу на вхід в апарат, Т<sub>х</sub>, °C 65

Температура кристалічного матеріалу на вихід з апарату, Т<sub>м</sub>, °C 60

Температура мокрого термометра, Т<sub>м</sub> 32

Максимальний лінійний розмір частинки, l<sub>max</sub> 0,002

Мінімальний лінійний розмір частинки, l<sub>min</sub> 0,001

Розрахувати середню температуру сушильного агента

Середня температура сушильного агента 80,5

По таблиці фізичних властивостей повітря при середній температурі сушильного агента знаходимо величини Таблиця

Теплоємність повітря, с 1006

Коефіцієнт теплопровідності, 0,02995

Критерій Прандтля, Pr 0,6955

Кінематичний коефіцієнт в'язкості, ν 0,000021

**Розрахунок коефіцієнта теплопередачі для охолоджувальної камери**

Коефіцієнт, В 3,2

Густина охолоджувального агента 1,165

Об'єм витрати охолоджувального агента, V 115000

Діаметр охолоджуваної труби, d 1,6

Кількість труб, шт 6

Коефіцієнт теплопередачі для сушильної камери 4340,64622920655

Коефіцієнт теплопередачі для охолоджувальної камери 7,17619606477118

Розрахувати коф. для сушильної камери Розрахувати коф. для охолодж. камери

**Проміжні результати розрахунків**

Більше 20  
 Менше 2  
 Логарифм 1  
 Площа поперечного перерізу для 1 труби 1,32665  
 Площа загальна для 6 труб 7,9599  
 Швидкість повітря 1,53721920012954  
 Лінійний розмір 0,0014142135623731  
 Змочений периметр 4,082  
 Лінійний розмір 1,3  
 Критерій Рейнольдса 95161,1885794476  
 Критерій Гуфмана 0,137199434229137  
 Критерій Нусельта 204,961628274041

Рисунок 3.7 – Вкладка «Розрахунок коефіцієнтів»

Вкладка «Рішення математичної моделі для сушильної камери» являє собою форму для введення вхідних даних користувачем та представлення розрахованих даних у вигляді таблиці та графічних залежностей (рис. 3.9).

Користувачу потрібно ввести дані в поля і після чого програма після натискання відповідної кнопки вирішить математичну модель для сушильної камери.

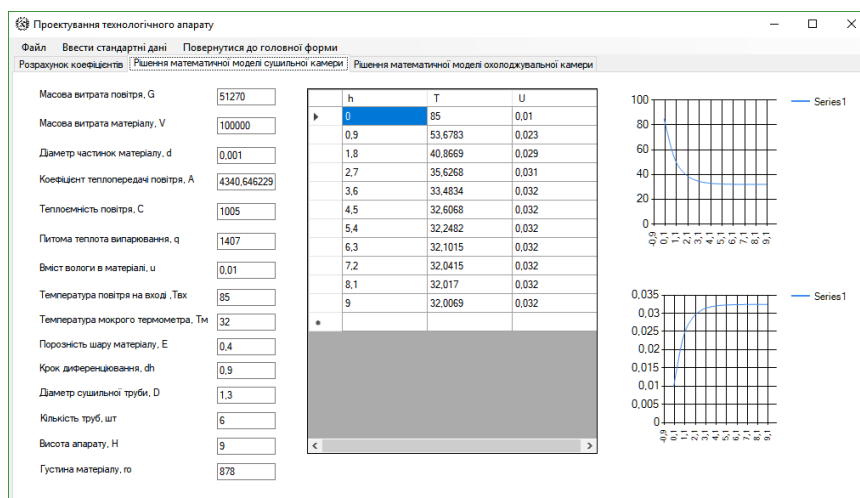


Рисунок 3.8 – Вкладка «Рішення математичної моделі для сушильної камери»

Вкладка «Рішення математичної моделі для охолоджувальної камери» являє собою форму для введення вхідних даних користувачем та представлення розрахованих даних у вигляді таблиці та графічних залежностей (рис. 3.9).

Користувачу виконує попередні дії.

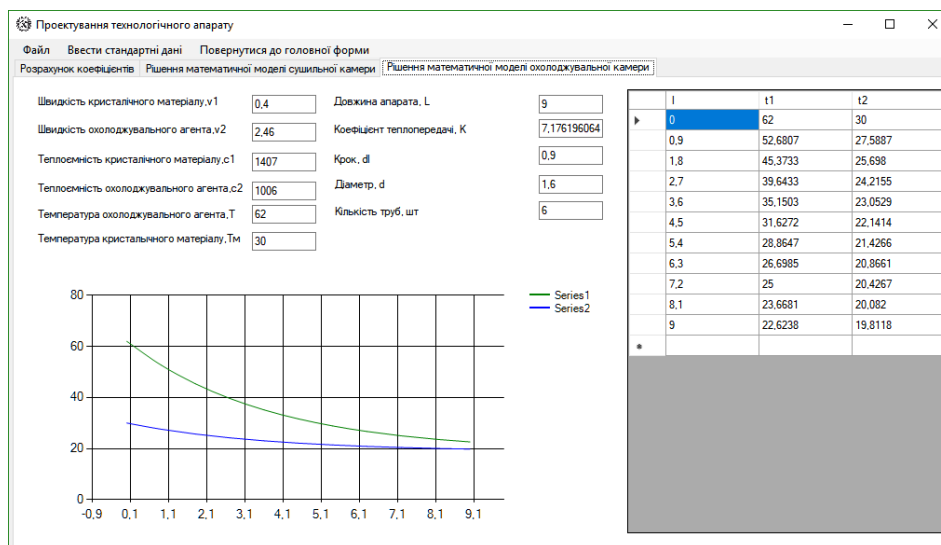


Рисунок 3.9 – Вкладка «Рішення математичної моделі для охолоджувальної камери»

Для початку обчислення слід натиснути відповідний пункт меню. Після введення даних розраховані результати будуть виведені на форму.

Для нормального проходження процесу, потрібно контролювати умови протікання процесу. Приклад схеми автоматизації приведений в наступному розділі.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4 Автоматизація технологічної схеми процесу сушки

Мета автоматизації – підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, покращення керування, усунення людини від виробництв, небезпечних для здоров'я [12].

Автоматизація, за винятком простих випадків, вимагає всебічного, системного підходу до рішення завдання, тому окремі вирішення завдань засобами автоматизації, зазвичай називаються системами, наприклад:

- автоматична система керування;
- автоматизована система керування;
- автоматизована система керування технологічним процесом (АСК ТП).

Система автоматизації – інформаційно об'єднана сукупність програмованих пристроїв автоматизованого та автоматичного контролю, регулювання та керування [12].

Галузі, де автоматизація є важливою: виробництво сталі, гірнича справа, машинобудування, хімічне виробництво, харчова промисловість, енергетика, керування автомобільним, залізничним і повітряним транспортом.

Складовими елементами системи автоматизації є підсистеми:

1. Технологічної та аварійної сигналізації.
2. Автоматичного блокування і технологічного захисту.
3. Аварійного керування.
4. Реєстрації стану керованого процесу і дій оператора.
5. Обмін даними між пристроями системи та зі зовнішніми інформаційними системами.

Схема автоматизації – основний технічний документ, схема, що визначає структуру (ієрархію) пунктів контролю та керування, функції систем контролю і керування об'єкта, що автоматизується, оснащення систем автоматизації технічними засобами: приладами та засобами автоматизації, щитами, пультами, обчислювальною технікою тощо [12].

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Функціональна схема автоматизації є основним проектним документом, який визначає структуру і рівень автоматизації технологічного процесу об'єкта. На функціональній схемі за допомогою умовних графічних позначень вказують технологічне обладнання, комунікації, органи керування, прилади і засоби автоматизації та ін. із зазначенням зв'язків між ними, таблиці умовних позначень і необхідних пояснень [12].

#### 4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми

Під час процесу сушіння та охолодження кристалічних матеріалів, який відбувається в сушильно – охолоджувальній установці необхідно для отримання якісного матеріалу в заданій кількості підтримувати необхідний температурний режим та створювати розрідження щоб необхідна кількість повітря потрапила в установку.

Важливим фактором є контролювання витрат вхідних речовин, а також тиску на фільтрах калориферів.

В зв'язку з порушенням будь якого з етапів може викликати не якісні характеристики матеріалу, а це може суттєво змінити поведінку матеріалу в подальшому його використанні. Отже, необхідно контролювати та регулювати всі параметри які беруть участь у цьому процесі.

Аналіз технологічної схеми показав, що для забезпечення нормальної роботи сушильного відділення необхідно регулювати наступні параметри:

- витрату повітря на калорифери;
- витрату пари на калорифери;
- витрату води на скрубери;
- витрату води для промивки лопатей вентилятора;
- витрату матеріалу після центрифуги;
- витрату готового продукту
- температуру пари;

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- температуру повітря після калориферів;
- температуру води;
- температуру двигуна барабана;
- температуру редуктора двигуна барабана;
- температуру двигуна ковшового елеватора для подачі вологого кристалічного матеріалу;
- температура двигуна вентилятора;
- тиск на фільтрах калориферів.

На підставі аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва. Параметри контролю, регулювання та автоматизації процесом сушки кристалічних матеріалів занесені до таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Параметри регулювання та контролю процесу сушки кристалічних матеріалів

№	Місце заміру параметру на технологічному об'єкті(найменування стадії технологічної схеми процесу)	Параметр, що вимірюється або регулюється (найменування)	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (вимірювання, регулювання, сигналізація, тощо)
1	2	3	4	5
1	Трубопровід подачі повітря на основний калорифер	Витрата	$44\,050 \pm 5$ м <sup>3</sup> /год	Контроль, реєстрація, регулювання
2	Трубопровід подачі пари для нагрівання повітря	Витрата	$2300 \pm 5$ м <sup>3</sup> /год	Контроль, реєстрація, регулювання

## Продовження таблиці 4.1

3	Трубопровід подачі повітря на калорифер для підігріву повітря	Витрата	$98\,860 \pm 5$ $\text{м}^3/\text{год}$	Контроль, реєстрація, регулювання
4	Трубопровід подачі води на скруббер та вентилятор	Витрата	$5 \pm 0.5$ $\text{м}^3/\text{год}$	Контроль, реєстрація
5	Трубопровід відпрацьованого повітря	Витрата	$142\,910 \pm 5$ $\text{м}^3/\text{год}$	Контроль, реєстрація
6	Трубопровід подачі води на скруббер	Витрата	$4 \pm 0.5$ $\text{м}^3/\text{год}$	Контроль, реєстрація
7	Трубопровід подачі гарячого повітря в сушильну камеру	Температура	$85 \pm 5$ °C	Контроль, реєстрація
8	Трубопровід подачі пари для нагрівання повітря	Температура	$125 \pm 5$ °C	Контроль і реєстрація
9	Трубопровід подачі холодного повітря в охолоджувальну камеру	Температура	$20 \pm 5$ °C	Контроль і реєстрація
10	Трубопровід відпрацьованого повітря	Температура	$58 \pm 5$ °C	Контроль і реєстрація
11	Трубопровід подачі води на скруббер та вентилятор	Температура	$75 \pm 5$ °C	Регулювання

12	Трубопровід подачі гарячого повітря в сушильну камеру	Температура	$90 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Контроль, реєстрація, регулювання, сигналізація
13	Трубопровід подачі холодного повітря в охолоджувальну камеру	Температура	$25 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Контроль, реєстрація, регулювання, сигналізація
14	Двигун ковшового елеватора для подачі вологого кристалічного матеріалу	Температура	$40 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Контроль, реєстрація, сигналізація
15	Двигун барабана	Температура	$40 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Контроль, реєстрація, сигналізація
16	Редуктор двигуна барабана	Температура	$40 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Контроль, реєстрація, сигналізація
17	Двигун вентилятора	Температура	$40 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Контроль, реєстрація, сигналізація
18	Фільтр основного калорифера	Тиск	$0,095 \pm 0,003$ МПа	Контроль, реєстрація
19	Фільтр калорифера для підігріву повітря	Тиск	$0,095 \pm 0,003$ МПа	Контроль, реєстрація

Також передбачена можливість дистанційного керування двигунами стрічкових конвеєрів, ковшових елеваторів, калориферів, сушильно – охолоджувальної установки, вентилятора.

На основі параметрів обирають технічні засоби автоматизації

Засоби автоматизації підбирають з дотриманням наступних правил:

- для регулювання однакових параметрів технологічного процесу застосовуються однотипні засоби автоматизації;
- клас точності приладів повинен відповідати технологічним вимогам;
- діапазон вимірювання приладів повинен відповідати діапазону технологічних параметрів, що регулюються.

Засоби автоматизації вибрані [10, 11, 12]. Специфікація до обраних засобів наведена в додатку Д.

## 4.2 Характеристика розробленої схеми автоматизації

На рис 4.1 представлена схема автоматизації процесу сушки кристалічних матеріалів.

### Контроль та регулювання витрат

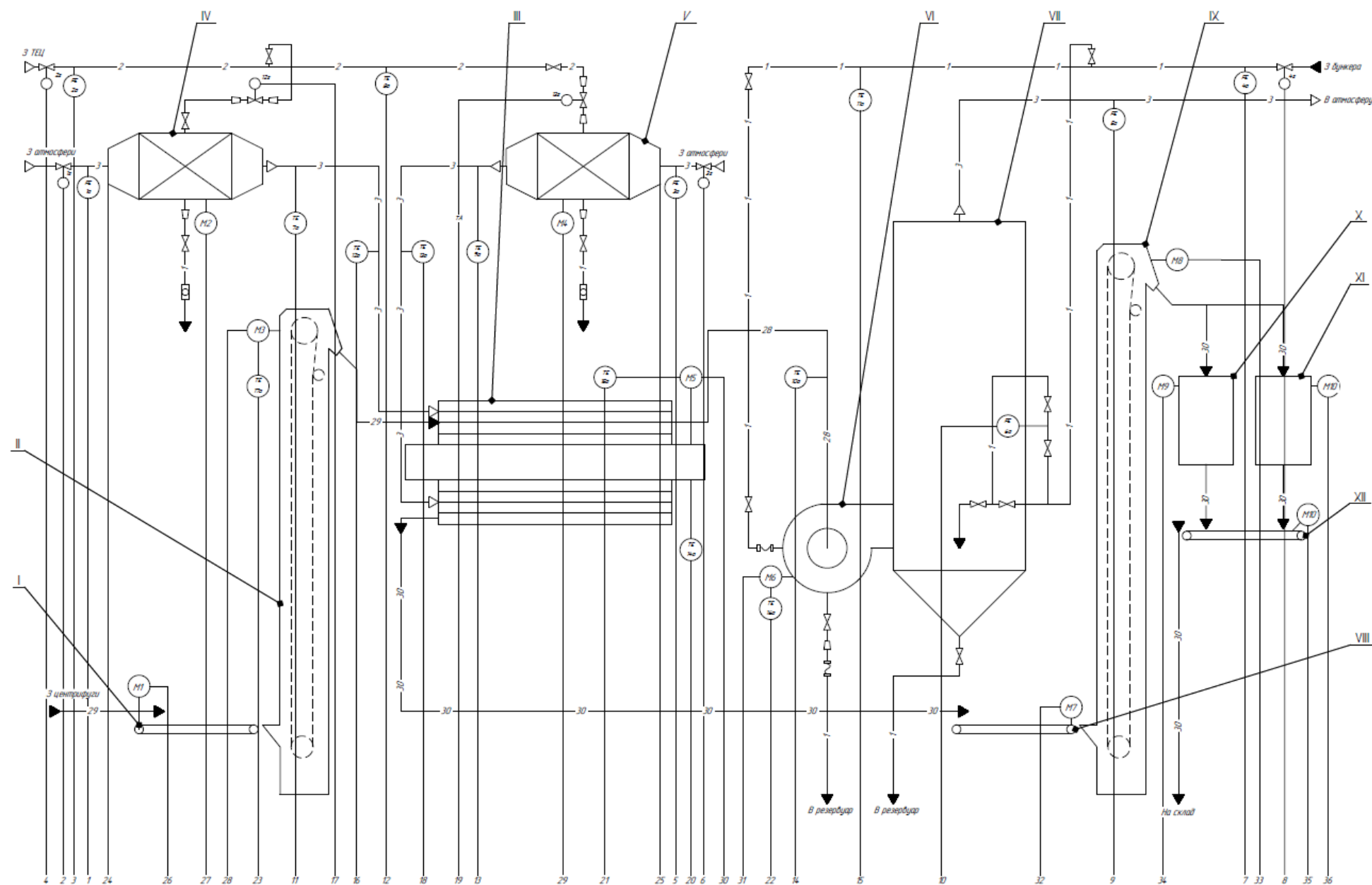
Для контролю та регулювання витрати використовується вихровий витратомір марки SITRANS FX330 (поз. 1а, 2а, 3а, 4а, 5а, 6а) з температурою вимірюваного середовища від -40 до 230 °С, прилад містить вбудований первинний перетворювач у вихідний сигнал 4 – 20 мА.

Далі сигнал подається на перетворювач сигналу SM 331 (поз. 1б, 2б, 3б, 4б, 5б, 6б) який перетворює сигнал з аналогового на дискретний після чого дані заносяться в мікроконтролер марки S7-300. Після чого реєструюча складова записується в базу даних, а показуюча складова виводиться на монітор оператора. В контурах регулювання мікроконтролер видає регулюючий вплив на виконавий механізм (поз. 1г, 2г, 3г, 4г) через перетворювач сигналу (поз. 1в, 2в, 3в, 4в), сигнал перетворюється з дискретного на аналоговий перетворювачем S-332.

### Контроль та регулювання температури

В якості первинного перетворювача при вимірюванні температури було обрано термоперетворювач опору мідний марки TCM-1293-01 з токовим виходом (поз. 7а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а, 13а) з діапазоном вимірювання температури від

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



№ п/п	Найменування технологічного устаткування	Кількість
I, VIII, XII	Стрічковий конвеєр	3
II, IX	Ковшовий елеватор	2
III	Сушильно - охолоджувальна установка	1
VI, V	Калорифер	2
VI	Вентилятор	1
VII	Скрубер	1
X, XI	Компактифікатор	2

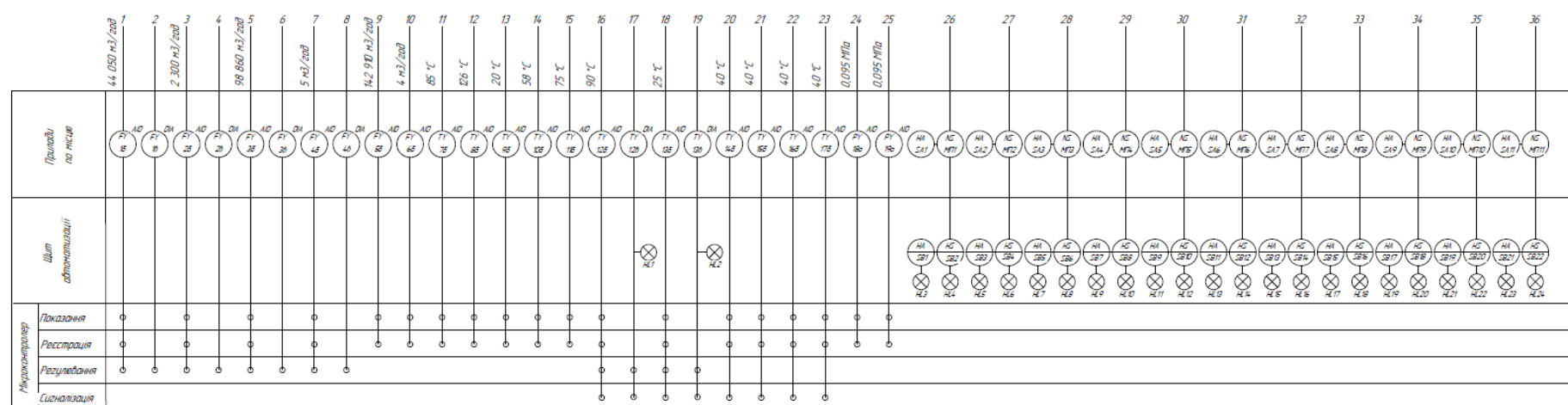


Рис 4.1 Схема автоматизації процесу сушки кристалічних матеріалів

-50°C – 150°C, що призначений для вимірювання температури у рідких та газоподібних з малою похибкою, шляхом перетворення опору в уніфікований вихідний сигнал 4 – 20 мА.

Для вимірювання температури на двигунах було обрано цифровий термометр DTM (поз. 14а, 15а, 16а, 17а) з діапазоном вимірювання температури від -20°C – 400°C, що призначені для вимірювання температури двигунів з вихідним сигналом 4 – 20 мА.

Отриманий сигнал подається на перетворювач сигналу SM 331 (поз. 7б, 8б, 9б, 10б, 11б, 12б, 13б, 14б, 15б, 16б, 17б), який перетворює сигнал з аналогового на дискретний після чого дані заносяться в мікроконтролер марки S7-300. Після чого реєструюча складова записується в базу даних, а показуюча складова виводиться на монітор оператора. В контурах регулювання мікроконтролер видає регулюючий вплив на виконавий механізм (поз. 12г, 13г) через перетворювач сигналу (поз. 12в, 13в), сигнал перетворюється з дискретного на аналоговий перетворювачем S-332. Також сигнал в деяких контурах поступає на сигналізуючу складову, на яких використовуються сигнальні лампи з червоним індикатором марки ЛС 47-2.

### **Контроль тиску**

Для вимірювання тиску використано первинний перетворювач тиску марки WIKA, для вимірювання тиску від 0 до 0,16 МПа в рідких і газоподібних середовищах, вихідний сигнал манометру 0 – 20 мА.

Далі сигнал подається на перетворювач сигналу SM 331 (поз. 18а, 19а), який перетворює сигнал з аналогового на дискретний після чого дані заносяться в мікроконтролер марки S7-300. Після чого реєструюча складова записується в базу даних, а показуюча складова виводиться на монітор оператора.

### **Контур перемикання**

Контур дистанційного регулювання двигуна (контр. 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36) використовує пост керування кнопковий марки ПКУ 15-21- 131-УЗ та магнітні пускачі марки ПМ12- 160210У2В.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для сигналізації верхньої та нижньої рівня сигналізації використовуються індикаторні лампи марки СКЛ-11-3-2220 (поз. HL3, HL4, HL5, HL6, HL7, HL8, HL9, HL10, HL11, HL12, HL13, HL14, , HL15, HL16, HL17, HL18, HL19, HL20, HL21, HL22, HL23, HL24).

На рис 4.2 представлено монтаж технічного засобу автоматизації, а саме термометру опору марки TCM 1293-01.

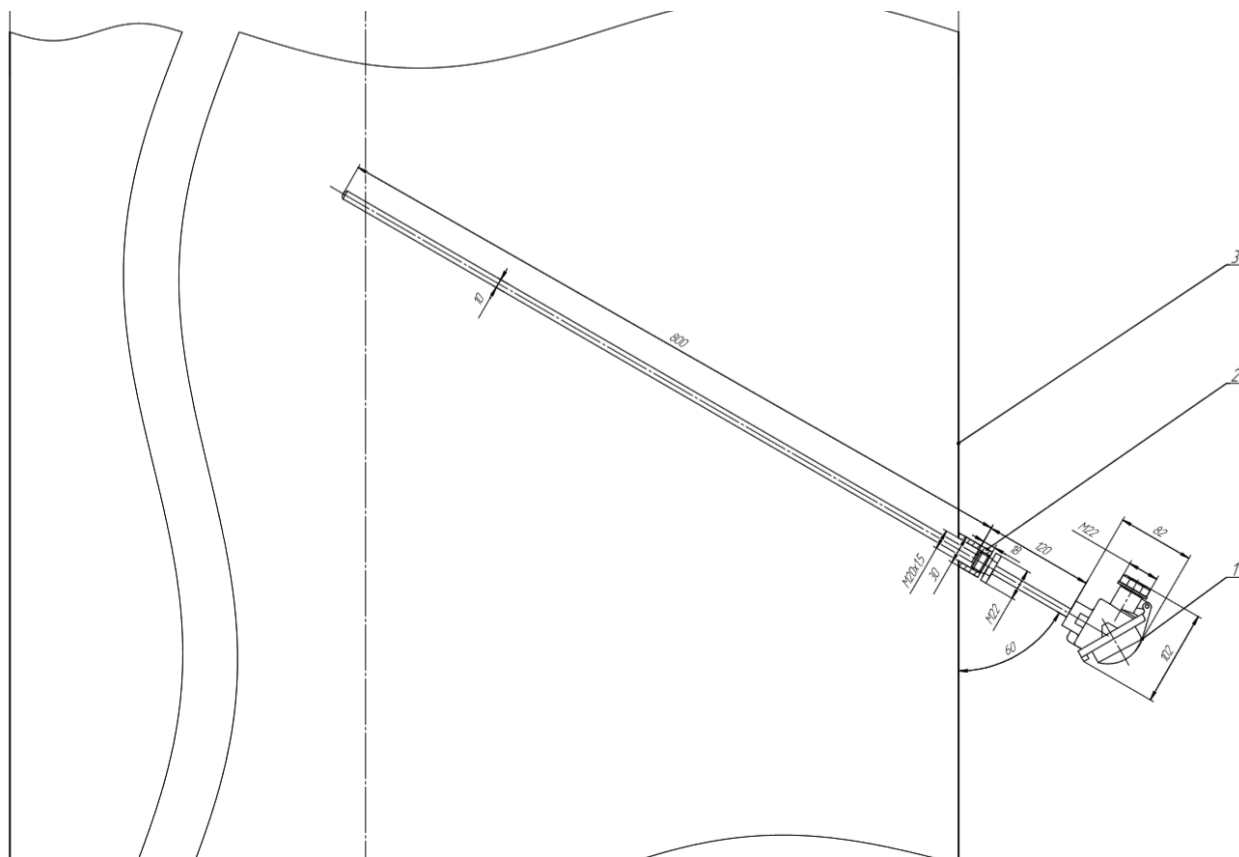


Рисунок 4.2 монтаж технічного засобу автоматизації

Розроблена схема автоматизації дозволяє проводити технологічний процес сушки кристалічних матеріалів.



## 5. Економіко – технічні розрахунки

Метою даного розділу є розрахунок економіко – технічних показників, що показують доцільність створення сушильного відділення підприємства в умовах ринкової економіки.

### 5.1 Технологічна підготовка підприємства

Виробничі процеси підприємства можна поділити на основні, допоміжні, підсобні та бічні.

Таблиця 5.1 – Класифікація виробничих процесів цеху

Виробничі процеси	Стадії
Основні	1. Транспортування вологого кристалічного матеріалу стрічковим конвеєром 2. Транспортування вологого кристалічного матеріалу ковшовим елеватором 3. Сушіння кристалічного матеріалу в сушильних трубах 4. Охолодження кристалічного матеріалу в охолоджувальних трубах 5. Сухе охолодження на стрічковому конвеєрі
Допоміжні	1. Очистка і відмивання обладнання 2. Контроль якості
Бічні	1. Прибирання цеху

### 5.2 Оптимальний вид руху предметів праці (ВРПП)

ВРПП поділяються: послідовний, паралельний, синхронізований та змішаний. Режим роботи підрозділу підприємства безперервний, тобто робочий день 24 години, і складається з 5 етапів які наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 –Операції виробничого процесу

№	Назва операції	Час виконання, хв
1	Транспортування вологого кристалічного матеріалу стрічковим конвеєром	1
2	Транспортування вологого кристалічного матеріалу ковшовим елеватором	1
3	Сушіння кристалічного матеріалу в сушильних трубах	10
4	Охолодження кристалічного матеріалу в охолоджувальних трубах	10
5	Сухе охолодження на стрічковому конвеєрі	1

Випуск продукції за завданням зазначеному в дипломному проекті:

$$B = 100 \text{ т/год}$$

Сума тривалості операцій:

$$\sum_{i=1}^m t_i = 1 + 1 + 10 + 10 + 1 = 23 \text{ хв}$$

де  $m$  – кількість операцій,  $t_i$  - тривалість операцій.

Базовою одиницею  $T_{ВЦ}$  приймаємо одну годину, тобто 60 хвилин.

1. Послідовний вид руху предметів праці, являє собою рух, під час якого друга одиниця продукції запускається у виробництво після завершення першої [14].

$$T_{ВЦ}^{\text{посл}} = B \cdot \sum_{i=1}^m t_i$$

$$60 = B' \cdot 23; \Rightarrow B' = \frac{60}{23} = 2.6 \text{ тон/год}$$

Так як ми маємо виготовляти 100 т/ год, а при послідовному ВРПП можемо виробляти тільки 2,6 т/год, то послідовний ВРПП не може задовільнити потребу.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

2. Паралельний вид руху предметів праці, безпосередньо наступна одиниця продукції запускається у виробництво після того, як звільняється обладнання на першій операції [15].

$$T_{\text{ВЦ}}^{\text{пар}} = \sum_{i=1}^m t_i + (B - 1) \cdot t_{\text{max}}$$

$$60 = 23 + (B' - 1) \cdot 10; \Rightarrow B' = \frac{60 - 13}{10} = 4,7 \text{ т/год}$$

Так як ми маємо виготовляти 100 т/ год, а при паралельному ВРПП можемо виробляти тільки 4,7 т/год, то паралельний ВРПП не може задовільнити потребу.

3. Синхронізований вид руху предметів праці. В цьому випадку наступна одиниця продукції запускається у виробництво з ритмом і застосуванням інших ліній [14].

$$T_{\text{ВЦ}}^{\text{синх}} = \sum_{i=1}^m t_i + R(B - 1)$$

$$60 = 23 + 0,373(B' - 1); \Rightarrow B' = \frac{60 - 23 + 0,373}{0,373} = 100 \text{ т/год}$$

Розрахуємо кількість обладнання:

$$N_{\text{об}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{R} = \frac{23}{0,373} = 62 \text{ одиниці}$$

Графік виглядає наступним чином:

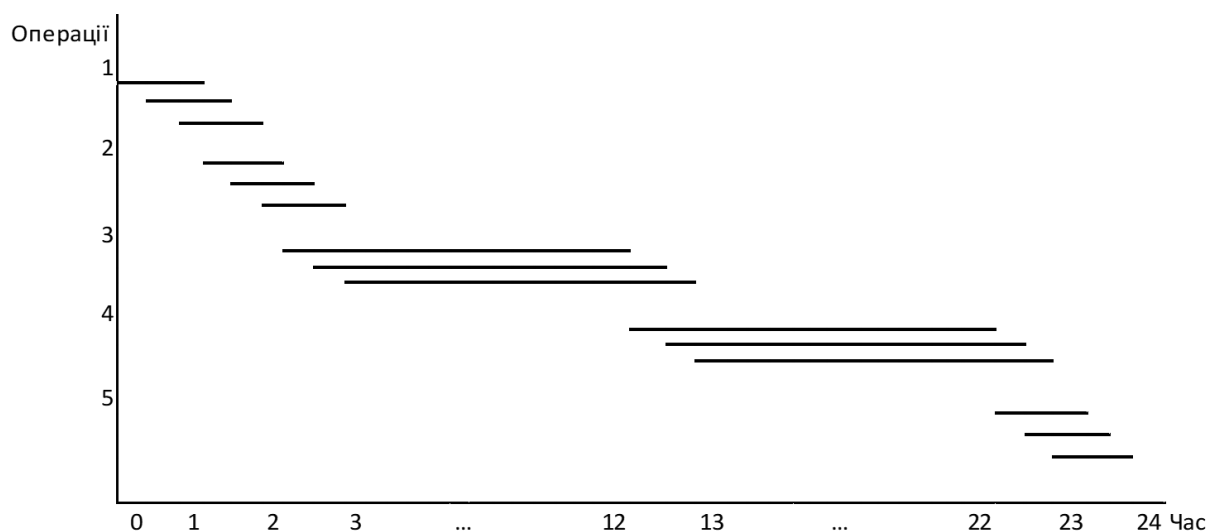


Рисунок 5.1 – Синхронізований ВРПП

Висновок: Оптимальним ВРПП є синхронізований з ритмом 0,373 хв, може задовільнити потребу в випуску 100 тон за годину продукції.

Так як кількість обладнання дуже велика, вартість якого мільйони гривень використовуємо по 1 одиниці обладнання з продуктивністю 100 тон на годину.

### 5.3 Необхідна кількість співробітників

Кількість працюючих на виробництві розраховуємо за графікам ВРПП (за тим який прийняли).

Підприємство працює безперервно у дві зміни, тривалість зміни 12 годин. Кількість персоналу наведена у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Кількість персоналу

Відділ	Посада	Кількість
Керівництво	Начальник цеху	1
Обслуговуючий відділ	Прибиральник	4
	Охоронець	4
Робітники	Начальник технологічної зміни	4
	Майстер дільниці	4
	Апаратник	20
	Працівник лабораторії	4

### 5.4 Чисельність персоналу явочна і за списком

Явочна чисельність персоналу – це максимально допустима чисельність працівників, необхідна для виконання обсягу робіт і повної комплектації робочих місць протягом робочої зміни [15]. Явочна чисельність персоналу за зміну повинна бути:

1-працівник лабораторії;

1-начальник технологічної зміни;

- 5-апаратник;
- 1-прибиральник;
- 1-охоронник;
- 1- майстер дільниці

$$\text{Ч}_{\text{явочна}} = 10 \text{ осіб}$$

Чисельність за списком характеризує потреби підприємства у кадрах і крім наявної чисельності включає додаткову кількість для заміни тих хто у відпустці, хворіє або відсутній з поважної причини [15].

$$\text{Ч}_{\text{сп}} = \text{Ч}_{\text{яв}} \cdot \frac{\text{T}_{\text{р}}^{\text{підприємства}}}{\text{T}_{\text{р}}^{\text{працівника}}} = 10 \cdot \frac{2880}{662} = 40 \text{ працівників}$$

Тривалість роботи підприємства:

Підприємство працює 120 днів, тобто забезпечує виробництво партії замовлення.

$$\text{T}_{\text{р}}^{\text{підприємства}} = 120 \cdot 24 = 2880 \text{ год/пз}$$

Тривалість роботи працівника:

$$\text{T}_{\text{р}}^{\text{працівника}} = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (8 - 1) \cdot 1 = 2015 \text{ год/рік}$$

Визначаємо роботу працівника за 120 днів:

$$\text{T}_{\text{р}}^{\text{працівника}} = \frac{120 \cdot 2015}{365} = 662 \text{ год/пз}$$

Для функціонування підприємства на добу потрібно 40 осіб.

Начальник цеху працює в першу зміну – 12 годин.

Підприємство працює безперервно (не має святкових днів і вихідних).

Визначаємо кількість бригад:

$$N = \frac{2880}{662} = 4 \text{ бригади}$$

Для продуктивної роботи підприємства потрібно 4 бригади. Кожна бригада працює по 180 годин на місяць.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Таблиця 5.4 – Графік роботи технологічних змін сушильного відділення  
(представлений графік на вересень місяць)

Години праці / дні	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8:00- 20:00	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I	III	II
20:00- 8:00	IV	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I	III
Години праці / дні	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8:00- 20:00	IV	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I	III
20:00- 8:00	II	IV	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I	III	II	IV	I

Фактична тривалість роботи працівника:

$$T_{\text{працівника}}^{\text{факт}} = \frac{365}{T_{\text{зм.об.}}} \cdot (T_{\text{зм.об.}} - T_{\text{вихідн.}}) \cdot T_{\text{зміни}} = \frac{365}{16} \cdot (16 - 8) \cdot 12$$

$$= 2190 \text{ год/рік}$$

Фактична тривалість роботи працівника за 120 днів:

$$T_{\text{працівника}}^{\text{факт}} = \frac{120 \cdot 2190}{365} = 720 \text{ год/пз}$$

Перепрацювання працівника:

$$T_{\text{перепрац}} = T_{\text{працівника}}^{\text{факт}} - T_{\text{р}}^{\text{працівника}} = 720 - 668 = 52 \text{ год/пз}$$

Так як перепрацювання для кожного працівника становить 52 години, це було враховано в заробітній платі

Необхідна кількість обладнання наведена у таблиці 5.5

Таблиця 5.5 – Розрахунок необхідної кількості обладнання

№ операції	Назва обладнання	Кількість
1	Конвеєр стрічковий вологого кристалічного матеріалу	1

2	Елеватор ковшовий вологого кристалічного матеріалу	1
3	Трубчаста сушильна установка для кристалічного матеріалу	1
4	Трубчаста охолоджувальна установка для кристалічного матеріалу	1
5	Конвеєр стрічковий для сухого кристалічного матеріалу	1

Загальна кількість одиниць обладнання – 5.

### 5.5 Контроль виробництва

Технічний контроль – сукупність методів, заходів і засобів, що забезпечують відповідність якості продукції вимогам стандартів і нормативів [15].

Проводиться вхідний та кінцевий контроль.

Вхідний контроль – це перевірка якості продукції перед запуском у виробництво. Вхідний контроль включає проби сировини (об'єкт), що надходить у виробництво [15]. Аналіз сировини проводять наглядно (зовнішній вигляд, запах, колір). Вхідний контроль проводить працівник лабораторії(суб'єкт). Результати досліджень записуються до спеціального журналу вхідного контролю.

Таблиця 5.6 – Журнал вхідного контролю

Дата	Час перевірки	Контролюючий параметр	Результати контролю	Підпис виконавця

При кінцевому контролі здійснюється оцінка якості готової продукції. Основна мета контролю є виявлення браку. Контроль здійснюють працівником лабораторії (суб'єкт). Визначають фізико-хімічні, мікробіологічні показники

кристалічного матеріалу(об'єкт). Результати досліджень записуються до журналу вихідного контролю (виглядає так само, як журнал вхідного контролю) , на підставі якого головним інженером, а потім начальником цеху заповнюється паспорт якості на продукцію, який передається на підпис безпосередньо директору підприємства.

## 5.6 Баланс споживання оборотних фондів

Оборотні фонди – це форми підприємства, які повністю витрачаються протягом одного виробничого циклу і їх вартість переносять на вартість готової продукції повністю і відразу.

До оборотних фондів відносять:

- Сировина;
- Електроенергія;
- Заробітна плата.

Випуск продукції для партії замовлення (партія замовлення виготовляється за 120 днів):

$$V_{пз} = 120 \cdot 24 \cdot 100 = 288\,000 \text{ т/пз}$$

1. Вартість сировини наведена у таблиці 5.7

Таблиця 5.7 – Витрати сировини

Сировина	Кількість, т	Вартість, грн/т
Матеріал	293 108	1 548

Щоб забезпечити потреби партії замовлення продукції необхідно 453 687 121 грн/пз.

2. Вартість електроенергії

Вартість електроенергії розраховуємо за 2-зонним тарифом. Розподілимо: денний період (з 7 год. до 23 год.) – тарифний коефіцієнт складає 1, нічний період (з 23 год. до 7 год.) – 0,5. Загальна потужність становить 461 кВт/год.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Денний період:  $461 \cdot 16 = 7\,376$  кВт

За партію замовлення:  $7\,376 \cdot 120 = 885\,120$  кВт

Ціна за партію замовлення:  $885\,120 \cdot 1 \cdot 2,5 = 2\,212\,800$  грн/пз

Нічний період:  $461 \cdot 8 = 3\,688$  кВт

За рік:  $3\,688 \cdot 120 = 442\,560$  кВт

Ціна за партію замовлення:  $442\,560 \cdot 0,5 \cdot 2,5 = 553\,200$  грн/пз

Загальна ціна електроенергії:  $2\,212\,800 + 553\,200 = 2\,766\,000$  грн/пз

Вартість теплової енергії:

Загальна кількість становить 1,442 гКал/год.

За партію замовлення:  $1,442 \cdot 24 \cdot 120 = 4\,152$  гКал

Ціна за партію замовлення:  $4\,152 \cdot 1325 = 5\,501\,400$  грн/пз

### 3. Заробітна плата

Таблиця 5.8 – Заробітна плата працівників

Посада	Кількість	Заробітна плата працівника, грн/міс	Всього
Начальник цеху	1	25 000	25 000
Працівник лабораторії (служба головного технолога)	4	7 000	28 000
Начальник технологічної зміни	4	13 000	52 000
Апаратник	20	10 000	200 000
Майстер дільниці	4	15 000	60 000
Прибиральник	4	6 000	24 000
Охоронець	4	7 000	28 000
Всього:	41		417 000

Фонд оплати праці:

ФОП = ЗП + Нарахування =  $417\,000 \cdot 4 \cdot 1,22 = 2\,034\,960$  грн/рік.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Вартість оборотних засобів:

$$\begin{aligned} \text{ОбЗ} &= \text{В}_{\text{сиров}} + \text{Ц}_{\text{ел}} + \text{Ц}_{\text{те}} + \text{ФОП} = 453\,687\,121 + 2\,766\,000 + 5\,501\,400 + \\ &+ 2\,034\,960 = 463\,989\,481 \text{ грн/рік.} \end{aligned}$$

### 5.7 Розрахунок основних фондів

До основних фондів відділення належать:

- будівлі та споруди;
- машини і обладнання
- транспорт
- виробничий господарський інвентар
- нематеріальні активи.

Вартість ОФ наведено та розраховано в таблиці.

Таблиця 5.9 – Вартість технологічного обладнання

Основні фонди	Кільк.	Сума (грн)	Строк екс-ції (років)	Амортизація (грн/рік)	Норма а-ції, %
Будівля	1	1 162 150	20	58 107	5
Конвеєр стрічковий вологого матеріалу	1	75 000	5	15 000	20
Елеватор ковшовий вологого матеріалу	1	170 000	5	34 000	20
Трубчаста сушилка	1	10 281 500	5	2 056 300	20
Конвеєр стрічковий	2	75 000	5	15 000	20

Траспорт, виробничий господарський інвентар, нем-льні активи	Враховано в накладні при розрахунку собівартості				
Всього:		11 763 650		2 178 407	

Сумарна вартість ОФ = 11 763 650 грн.

Амортизаційні відрахування А = 2 178 407 грн/рік.

Таблиця 5.10 – Калькуляція на вид продукції

№	Елемент	Ціна, грн./рік
1	Сировина	453 687 121
2	Амортизаційні відрахування	2 178 407
3	Електроенергія	2 766 000
4	Заробітна плата	1 668 000
5	Нарахування за ЗП	366 960
6	Інше(теплова енергія)	5 501 400
Всього		466 167 888

### 5.8 Розрахунок собівартості, прибутку та періоду повернення капіталовкладень

Собівартість кристалічного матеріалу для одного цеху:

$$C_{\text{цех}} = A + \text{ОБЗ} = 463\,989\,481 + 2\,178\,407 = 466\,167\,888 \text{ грн}$$

Собівартість виробництва:

$$C_{\text{вир}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{цех}}$$

де  $n$  – кількість цехів на підприємстві.

На підприємстві 5 цехів. Отже собівартість виробництва складе:

$$C_{\text{вир}} = 5 \cdot 466\,167\,888 = 2\,330\,839\,439 \text{ грн}$$

Повна собівартість:

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{вир}} + \text{Накладні} = 2\,330\,839\,439 + 466\,167\,888 = 2\,797\,007\,327 \text{ грн}$$

Накладні – адміністративно управлінські витрати, які приблизно дорівнюють 80 ... 150 % від собівартості цеху виробництва.

Собівартість одного кілограма:

$$C_{\text{од}} = \frac{C_{\text{с}}}{B_{\text{с}}} = \frac{2\,797\,007\,327}{288\,000} = 9,71 \text{ грн}$$

Ринкова оптова ціна 11 грн/кг

$$\Pi = 288\,000\,000 \cdot 11 = 3\,168\,000\,000 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$\Pi = \Pi - C = 3\,168\,000\,000 - 2\,797\,007\,327 = 370\,992\,673 \text{ грн}$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{\Pi}{C} = \frac{370\,992\,673}{2\,797\,007\,327} = 0,132 \text{ або } 13,2\%$$

Капіталовкладення:

$$K = \text{ОФ} + \text{ОбЗ} = 11\,763\,650 + 2\,794\,828\,920 = 2\,806\,592\,570 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\Pi} = \frac{2\,806\,592\,570}{370\,992\,673} = 7,56 \text{ років}$$

Ефективність підприємства:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{370\,992\,673}{2\,778\,877\,370} = 0,132 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача:

$$\Phi B = \frac{\Pi}{\text{ОФ}} = \frac{3\,168\,000\,000}{11\,763\,650} = 269 \text{ грн/грн}$$

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фондоємність:

$$\Phi\epsilon = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{269} = 0,0037 \text{ грн/грн}$$

У таблиці 5.11 наведені основні економіко -технічні показники

Таблиця 5.11 – Економіко - технічні показники

Показники ТЕО	Розрахункові дані	Розмірність
Випуск продукції	288 000	т/рік
Чисельність персоналу	41	осіб
Собівартість	2 797 007 327	грн/рік
Ціна	3 168 000 000	грн/рік
Прибуток	370 992 673	грн/рік
Рентабельність	13,2	%
Капіталовкладення	2 806 592 570	грн
Період повернення капіталовкладень	7,56	років
Ефективність підприємства	0,132	грн/грн
Фондовіддача	269	грн/грн
Фондоємність	0,0037	грн/грн

## 5.9 Перерахунок економіко-технічних показників з використанням модернізації

Під час розробки дипломного проекту було спроектовано програмний модуль, метою якого є розрахунок та моделювання процесу сушіння кристалічних матеріалів без втручання людини. Також проведена автоматизація виробництва. Отже, при застосуванні цих комплексів (автоматизації і програмного модуля), можна скоротити кількість персоналу у відділенні, а також потреба в сировині зменшиться на 1 %. Це можна пояснити тим, що:

- 1) з'являється можливість висушування кристалічного матеріалу до вологості 0,05 %, що дає змогу зберігати кристалічний матеріал без затарювання, що зменшить його втрати.
- 2) контроль обертами барабану в сушильно – охолоджувальній установці запобігає меншому перетиранню кристалічного матеріалу, а відповідно мінімізуються його втрати.

Це все відобразиться на техніко-економічних показниках.

Розрахуємо економіко – технічні показники з використанням автоматизації та програмного модуля.

1. Вартість сировини наведена у таблиці 5.12

Таблиця 5.12 – Витрати сировини

Сировина	Кількість, т	Вартість, грн/т
Матеріал	290 499	1 548

Щоб забезпечити потреби партії замовлення продукції необхідно 449 693 987,5 грн/пз.

2. Кількість працівників, що працюватимуть на новому виробництві приведено в таблиці 5.13

Таблиця 5.13 – Кількість персоналу на автоматизованому виробництві

Відділ	Посада	Кількість
Керівництво	Начальник цеху	1
Обслуговуючий відділ	Прибиральник	4
	Охоронець	4
Робітники	Начальник технологічної зміни	4
	Майстер дільниці	2
	Оператор сушильного відділення	4
	Працівник лабораторії	4

Явочна чисельність персоналу складе  $Ч_{\text{явочна}} = 5$  осіб

1-працівник лабораторії;

1-начальник технологічної зміни;

1-апаратник;

1-прибиральник;

1-охоронник;

Чисельність персоналу за списком складе:

$$\chi_{\text{сп}} = \chi_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{р}}^{\text{підприємства}}}{T_{\text{р}}^{\text{працівника}}} = 5 \cdot \frac{2880}{662} = 20 \text{ працівників}$$

Тривалість роботи підприємства:

Підприємство працює 120 днів, тобто забезпечує виробництво партії замовлення.

$$T_{\text{р}}^{\text{підприємства}} = 120 \cdot 24 = 2880 \text{ год/пз}$$

Тривалість роботи працівника:

$$T_{\text{р}}^{\text{працівника}} = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (8 - 1) \cdot 1 = 2015 \text{ год/рік}$$

Визначаємо роботу працівника за 120 днів:

$$T_{\text{р}}^{\text{працівника}} = \frac{120 \cdot 2015}{365} = 662 \text{ год/пз}$$

Для функціонування підприємства на добу потрібно 10 осіб.

Начальник цеху працює в першу зміну – 12 годин, майстер дільниці працює в першу зміну – 12 год.

### 3. Заробітна плата

Таблиця 5.14 – Заробітна плата працівників

Посада	Кількість	Заробітна плата працівника, грн/міс	Всього
Начальник цеху	1	25 000	25 000
Працівник лабораторії	4	7 000	28 000
Начальник технологічної зміни	4	13 000	52 000

Оператор	4	10 000	40 000
Майстер дільниці	2	15 000	30 000
Прибиральник	4	6 000	24 000
Охоронець	4	7 000	28 000
Всього:	23		227 000

Фонд оплати праці:

ФОП = ЗП + Нарахування =  $227\,000 \cdot 4 \cdot 1,22 = 1\,107\,760$  грн/рік.

Вартість оборотних засобів:

$ОБЗ = V_{\text{сиров}} + Ц_{\text{ел}} + Ц_{\text{те}} + \text{ФОП} = 449\,693\,987,5 + 2\,766\,000 + 5\,501\,400 +$   
 $+ 1\,107\,760 = 459\,072\,481,5$  грн/рік.

#### 4. Вартість програмного комплексу

Вартість програмного комплексу слід включити в основні фонди. Розрахуємо вартість програми. Година роботи програміста складає 500 грн. Для розробки програми було витрачено 5 дні по 8 годин кожного дня. Отже зарплата програміста складе:

$$\text{ЗП} = 5 \cdot 8 \cdot 500 = 20\,000 \text{ грн}$$

#### 5. Контроль виробництва

Проводиться вхідний та кінцевий контроль.

Вхідний контроль – це перевірка якості продукції перед запуском у виробництво. Вхідний контроль включає проби сировини (об'єкт), що надходить у виробництво. Аналіз сировини проводять наглядно (зовнішній вигляд, запах, колір). Вхідний контроль проводить працівник лабораторії(суб'єкт). Результати досліджень записуються до бази даних.

При кінцевому контролі здійснюється оцінка якості готової продукції. Основна мета контролю є виявлення браку. Контроль здійснюють працівником лабораторії (суб'єкт). Визначають фізико-хімічні, мікробіологічні показники кристалічного матеріалу(об'єкт). Результати досліджень записуються до бази даних, на підставі якої головним інженером, а потім начальником цеху



заповнюється паспорт якості на продукцію, який передається на підпис безпосередньо директору підприємства.

#### 5. Вартість основних фондів

До розрахованої вартості основних фондів додаємо:

- вартість програмного модуля, що відноситься до нематеріальних активів;
- приладів для автоматизації виробництва, що відноситься до обладнання.

Таблиця 5.15– Вартість технологічного обладнання

Основні фонди	Кільк.	Сума (грн)	Строк експ-ції (років)	Амортизація (грн/рік)	Норма а-ції, %
Будівля	1	1 162 150	20	58 107	5
Конвеєр стрічковий вологого матеріалу	1	75 000	5	15 000	20
Елеватор ковшовий вологого матеріалу	1	170 000	5	34 000	20
Трубчаста сушильно-охолоджувальна установка	1	10 281 500	5	2 056 300	20
Конвеєр стрічковий для сухого матеріалу	2	75 000	5	15 000	20
Засоби для автоматизації	53	1 000 000	5	200 000	20

Нем-ні активи	1	20 000	12	1666	8,33
Траспорт, виробничий господарський інвентар	Враховано в накладні при розрахунку собівартості				
Всього:		12 763 650		2 380 073	

$$A = 2\,380\,073 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 5.16 – Калькуляція на вид продукції

№	Елемент	Ціна, грн./рік
1	Сировина	449 693 987,5
2	Амортизаційні відрахування	2 380 073
3	Електроенергія	2 766 000
4	Заробітна плата	908 000
5	Нарахування за ЗП	199 760
6	Інше(теплова енергія)	5 501 400
Всього:		461 449 220,5

## 6. Економіко – технічні показники

Собівартість кристалічного матеріалу для одного цеху:

$$C_c = A + O63 = 459\,072\,481,5 + 2\,380\,073 = 461\,452\,554,5 \text{ грн}$$

Собівартість виробництва:

$$C_{\text{вир}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{цех}}$$

де n – кількість цехів на підприємстві.

На підприємстві 5 цехів. Отже собівартість виробництва складе:

$$C_{\text{вир}} = 5 \cdot 461\,452\,554,5 = 2\,307\,262\,772,5 \text{ грн}$$

Повна собівартість:

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{вир}} + \text{Накладні} = 2\,307\,262\,772,5 + 461\,452\,554,5 = 2\,768\,715\,327 \text{ грн}$$

Накладні – адміністративно управлінські витрати, які приблизно дорівнюють 80 ... 150 % від собівартості цеху виробництва.

Собівартість одного кілограма:

$$C_{\text{од}} = \frac{C_{\text{с}}}{B_{\text{с}}} = \frac{2\,768\,715\,327}{288\,000} = 9,612 \text{ грн}$$

Ринкова оптова ціна 11 грн/кг

$$\text{Ц} = 288\,000\,000 \cdot 11 = 3\,168\,000\,000 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$\text{П} = \text{Ц} - \text{С} = 3\,168\,000\,000 - 2\,768\,715\,327 = 399\,284\,673 \text{ грн}$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{\text{П}}{\text{С}} = \frac{399\,284\,673}{2\,768\,715\,327} = 0,144 \text{ або } 14,4\%$$

Капіталовкладення:

$$K = \text{ОФ} + \text{ОбЗ} = 12\,383\,650 + 2\,766\,332\,920 = 2\,778\,716\,570 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\text{П}} = \frac{2\,778\,716\,570}{399\,284\,673} = 6.95 \text{ років}$$

Ефективність підприємства:

$$E = \frac{\text{П}}{K} = \frac{399\,284\,673}{2\,779\,511\,570} = 0,144 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача:

$$\text{ФВ} = \frac{\text{Ц}}{\text{ОФ}} = \frac{3\,168\,000\,000}{12\,383\,650} = 255 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність:

$$\text{ФЄ} = \frac{1}{\text{ФВ}} = \frac{1}{252} = 0,0039 \text{ грн/грн}$$

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

У таблиці 5.17 наведені основні економіко – технічні показники

Таблиця 5.17 – Економіко – технічні показники

Показники ТЕО	Розрахункові дані	Розмірність
Випуск продукції	288 000	т/рік
Чисельність персоналу	23	осіб
Собівартість	2 768 715 327	грн/рік
Ціна	3 168 000 000	грн/рік
Прибуток	399 284 673	грн/рік
Рентабельність	14,4	%
Капіталовкладення	2 778 716 570	грн
Період повернення капіталовкладень	6,95	років
Ефективність підприємства	0,144	грн/грн
Фондовіддача	255	грн/грн
Фондоємність	0,0039	грн/грн

Порівняння економіко – технічних показників звичайного виробництва та автоматизованого виробництва приведені у таблиці 5.18

Таблиця 5.18 – Порівняння економіко – технічних показників

Показники ТЕО	Розрахункові дані звичайного виробництва	Розрахункові дані автоматизованого виробництва	Розмірність
Випуск продукції	288 000	288 000	т/рік
Чисельність персоналу	41	23	осіб
Собівартість	2 797 007 327	2 768 715 327	грн/рік
Ціна	3 168 000 000	3 168 000 000	грн/рік
Прибуток	370 992 673	399 284 673	грн/рік

Продовження таблиці 5.18

Рентабельність	13,2	14,4	%
Капіталовкладення	2 806 592 570	2 778 716 570	грн
Період повернення капіталовкладень	7,56	6,95	років
Ефективність підприємства	0,132	0,144	грн/грн
Фондовіддача	269	255	грн/грн
Фондоємність	0,0037	0,0039	грн/грн

Як видно з розрахунків, автоматизоване виробництво, що керується за допомогою програмного модуля, є значно ефективнішим. Період повернення капіталовкладень в таке виробництво скорочується з 7,56 років до 6,95. Собівартість продукції збільшилась з 2 797 007 327 до 2 768 715 327, а прибутку збільшився з 370 992 673 грн/рік до 399 284 673 грн/рік. Загалом економічні показники підприємства зростають.

Основні формули які використовувались для розрахунку взято з літератури [15], [16], [17].

Отже, з цього випливає висновок, що автоматизоване виробництво, що керується за допомогою програмного модуля, є більш економічно вигідним, порівняно зі звичайним виробництвом і може працювати без втручання людини.

## 6. Охорона праці

При реалізації даного проекту, в процесі сушіння кристалічного матеріалу, що відбувається в сушильному підрозділі, використовуються шкідливі, пожежо- і вибухонебезпечні речовини; передбачено використання механічної, електричної, теплової енергії.

Основними завданнями, що вирішуються на даний час, є: зменшення частки ручної праці, поліпшення умов праці, значне зменшення фізичної, важкої, монотонної і малокваліфікованої праці, створення виробничо-оздоровчих, виключення виробничого травматизму і професійних захворювань, санітарно-гігієнічних умов.

Проект виконаний з урахуванням вимог охорони праці та пожежної безпеки. В даному розділі на основі даних атестації робочого місця розроблені заходи, спрямовані на створення здорових і безпечних умов праці та забезпечення пожежної безпеки на проектуваному об'єкті.

### 6.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектуваному об'єкті. Заходи з охорони праці

#### 6.1.1. Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99, робота, що виконуються в сушильному відділенні відносяться до категорії робіт Іб.

Основними факторами, які визначають метеорологічні умови (мікроклімат) виробничого середовища, є: температура і вологість повітря, його рухомість (швидкість руху), теплове випромінювання.

Таблиця 6.1– Санітарні норми параметрів мікроклімату цеху

	Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Оптимальні	Холодний	Іб	21...23	60... 40	0,1

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			70

	Теплий		22... 24	60... 40	0,2
Допустимі	Холодний	Іб	24...17	75	не більше 0,2
	Теплий		28...19	60	0,3 – 0,1

У таблиці 6.2 представлена коротка санітарна характеристика підрозділу підприємства.

Таблиця 6.2 – Коротка санітарна характеристика підрозділу, що проектується

Сушильне відділення	Назва виробничої ділянки, лабораторії, установки	Шкідливі речовини, що виділяються. Причини їх виділення	Група шкідливої речовини. Характеристика шкідливого впливу	Група шкідливої речовини у повітрі шкідливої зони, м/мг	Клас небезпечності шкідливої	Засоби індивідуального захисту	Засоби долікарської допомоги	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Клас виробництва згідно СН-245-71	Санітарна група технологічного процесу згідно СНІП 2.09.04-87
Кристалічний пил				2	2	Захисні окуляри, гумові рукавички, респіратор	Промити великою кількістю води,	Газоаналізатори	IV	Ia

Нормальні умови в проектованому цеху забезпечуються за рахунок механізації і автоматизації важких та трудомістких робіт, раціональному розміщенню та теплоізоляції устаткування, агрегатів, комунікації та інших джерел, що випромінюють на робочих місцях тепло.

Основною виробничою шкідливістю сушильного відділення є пил кристалічного матеріалу і частково тепло- і вологовиділення.

Проектом передбачається укриття всіх місць пересилки сухого кристалічного матеріалу, з влаштуванням від них місцевих аспіраційних відсосів.

Всі місцеві відсоси об'єднані в аспіраційну систему АСІ.

Перед факельним викидом в верхні шари атмосфери, повітря очищується в циклоні з водяною плівкою ІУІДВЦ6-01.

Тепло- і вологовиділення згідно завдання технологів, уловлюються із клеровочної мішалки (система ВІ).

Вентагрегат системи ВІ встановлюється по місцю на стіні. Викид вологого повітря виконується через стіну на вулицю.

Повітроводи в системах ЛСІ і ВІ використовуються з тонколистової оцинкованої сталі.

Для компенсації повітря, що видаляється, системами механічної вентиляції, передбачається встановлення припливної венткамери ІІІ.

Відповідно вказівок проектом передбачається пристрій додаткової припливної вентустановки 112 для забезпечення підпора в тамбур-шлюзи, що відділяють приміщення сушильного відділення з категорією “Б” від інших приміщень.

Дана установка має 2 вентагрегата (один робочий, один резервний).

Повітроводи системи ПІ і П2 на виході з припливної камери обладнані зворотними іскробезпечними клапанами, на вході в тамбур-шлюзи з приміщення сушильного відділення з категорією “Б” на повітроводах встановити вогнезадержуючі клапани.

Транзитні повітроводи системи П2 в сушильному відділенні штукатуряться цементним розчином (цемент М-400) 6=25 мм по металевій сітці.

### 6.1.2. Виробниче освітлення

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



Згідно ДБН В.2.5-28-06, роботи в цеху за зоровими умовами відносяться до розряду IV-г.

а) Освітлення.

Природне та штучне освітлення запроектовано згідно діючих будівельних та санітарних норм.

Всі робочі місця і виробничі приміщення забезпечені природним і штучним освітленням, достатнім для проведення робіт, відповідних технологічному процесу. Штучне освітлення запроектоване загальне і місцеве.

На оглядові вікна обладнання і прилади спостереження проектується освітлювачі місцевої дії, облаштовані автозахисною арматурою.

Ввімкнення загальної системи освітлення централізоване. Ремонтне освітлення має напругу 36,0 вольт.

Таблиця 6.3 – Норми штучного освітлення коефіцієнта природної освітленості КПО виробничих приміщень

Робоче місце	Характеристика здоров'я роботи	Розряд та під розряд заповної роботи	Освітленість, лк		КПО, $e_n$ , %			
			Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення	
			Комбіноване	Загальне	Верхнє	Бокове	Верхнє	Бокове
ПУ компресо	Малої точності	IV г	—	200	4	1,5	2,4	0,9

б) Аварійне освітлення.

Аварійне освітлення використовується для створення умов безпечного перебування обслуговуючого персоналу в відділенні, а також для евакуації людей в випадку відключення робочого освітлення. Аварійне освітлення підключено на протязі всього робочого часу, так як необхідна освітленість в приміщенні досягається при одночасній роботі робочого і аварійного освітлення.

### 6.1.3 Виробничий шум і вібрація

Обладнання (вібратори РЗ-ПРМ), що є джерелом шуму та вібрації, встановлюється на спеціальних віброізоляторах, а робочі місця біля них ізолюються гумовими ковриками.

Всі насоси в комплекті з електродвигунами встановлюються на окремому фундаменті не зв'язаному з фундаментом будівлі.

Витяжні і всмоктувальні патрубки вентиляторів з'єднуються з повітропроводами брезентовими вставками. Характеристики вентиляторів підбираються так, щоб колові швидкості не перевищували допустимі.

Згідно ДСН 3.3.6.037–99 рівень шуму становить 70дБА.

### 6.1.4 Електробезпека

Для обмеження можливості попадання обслуговуючого персоналу під небезпечну для життя напругу в проекті передбачено захисні заходи.

Запроектоване захисне заземлення всіх металевих неструмоведучих частин електрообладнання (корпусів електродвигунів, щитків і пулів управління, металевих оболонок, кабелів та ін.) які можуть перебувати під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Біля пультів і всередині щитів знаходяться захисні килими. Вся пускова апаратура встановлена вологозахисна.

а)Захисне занулення.

Для електрообладнання в приміщеннях з нормальним середовищем в якості захисних провідників повинні бути використані нулеві робочі жили кабелів, з'єднаних з глухозаземленою нейтраллю трансформаторної підстанції потужністю 2х1600 кВт, напругою 6/0,4 кВ.

Занулення електрообладнання (електродвигунів, магнітних пускачів, вимикачів шляхових та ін.) в вибухонебезпечних приміщеннях необхідно

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконувати лише приєднанням спеціальної нульової захисної жили кабелю до занулюючого контакту в ввідному пристрої електрообладнання. Нульова жила кабелю приєднується до глухозаземленої нейтралі існуючої трансформаторної підстанції потужністю 2х1600 кВт, напругою 6/0,4 кВ.

Вторинний контур заземлення з смугової сталі розміром 25х4 мм прокладається по стінах по периметру приміщення на висоті 0,4 м від рівня підлоги і є допоміжним захисним засобом.

Зовнішній контур заземлення виконується з електродів з круглої сталі Ø12 мм довжиною 5 м, з'єднаних між собою смуговою сталлю розмірами 40х4 мм, що покладена на глибині 0,5 м від рівня землі.

Опір контуру заземлення не повинен перевищувати 4 Ом. Якщо опір виявиться більшим, необхідно забити додаткові електроди.

Всі з'єднання заземлювачів виконуються зварною. Проходи магістралі заземлення скрізь фундаменти повинні виконуватись в водогазопровідних трубах.

б) Захист від прямих ударів блискавки.

Сушильне відділення підприємства по влаштуванню блискавкозахисту відноситься до II категорії.

В зв'язку з тим, що на приміщенні сушильного відділення верхні плити перекриття укладені на металеві ферми і при цьому використовуються негорючі утеплювачі і гідроізоляція, немає потреби у встановленні блискавкоприймачів або накладання блискавкоприймальної сітки. При цьому забезпечується неперервний електричний зв'язок металевих ферм між собою і з заземлювачами накладанням сталюого дроту Ø6 мм на ферми по периметру приміщення. З'єднання сталюого дроту з фермами виконується зваркою.

Струм овід води, що з'єднують ферми з заземлювачами, виконуються з сталюого дроту Ø6 мм і прокладаються по кутах приміщення. Величина імпульсного опору заземлювача для кожного струмовідводу повинна бути не більш 10 Ом.

в) Захист від електростатичної індукції.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист від електростатичної індукції здійснюється шляхом приєднання сталюю катанкою Ø6 мм металічних корпусів всього обладнання і і апаратів, а також металічних конструкцій до захисного заземлюючого пристрою приміщення.

г) Захист від електромагнітної індукції.

Захист від електромагнітної індукції виконується в виді пристрою через кожні 25...30 м металевих перемичок між трубопроводами і іншими простягнутими металічними предметами в місцях їх взаємного зближення на і відстань менше 10 см.

д) Захист від заносу високих потенціалів.

Па вводі в приміщення сушильного відділення всі підземні металічні комунікації і зовнішні наземні металеві конструкції і комунікації необхідно приєднати до захисного заземлюючого пристрою приміщення.

Всі з'єднання блискавко-захисних пристроїв виконуються зваркою.

е) Індивідуальні засоби захисту.

Кожний працюючий забезпечується відповідним спецодягом, взуттям і захисними засобами для виробництва і ремонту обладнання, що відповідають відповідним стандартам. До захисних засобів відносяться: окуляри, респіратори, запобіжні пояси, діелектричні рукавиці, ізолюючі шланги, плоскогубці та ін.

Захисне приладдя зберігається як цеховий інвентар і видається по мірі потреби під час виконання робіт, крім приладдя, яке знаходиться в чергового персоналу, яке передається позмінно.

### **6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання**

В проектуваному виробництві сушильного відділення використовується різне обладнання: стрічкові конвеєри, ковшові елеватори, сушильно-охолоджувальна установка, скруббер, вентилятор, вентилятор, трубопроводи, яке створює небезпеку з точки зору техніки безпеки.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для обслуговування обладнання на висоті більш ніж 1,5 м проектується майданчики з сходами і огороженнями висотою 2 м з суцільною зашивкою знизу на 0,2 м.

Ширина майданчиків обслуговування не менш 0,8 м, а ведучих до них сходинок не менш 0,6 м.

Нахил сходинок не перевищує допустимих норм. Поверхні металевих майданчиків і сходинок скрізь виконані з рифленої або просічно-витяжної сталі.

Відкриті монтажні пройми і майданчики мають огорожу висотою 1,0 м з суцільною зашивкою знизу не менше 0,2 м.

Всі частини обладнання, що обертаються, закриваються з'ємними огороженнями, суцільними і решітчастими, що пофарбовані в яскраві тони.

Зубчаті і ланцюгові передачі мають огороження з листової сталі. Все механічне і технологічне обладнання облаштовано необхідними запобіжними пристроями, блокувальними пристроями, сигналізацією і другими елементами, що забезпечують безпеку роботи, ремонту, а також необхідними контрольно-вимірювальними приладами і оглядовими скельцями.

Всі апарати, що не мають фланцевих з'єднань, оснащені лазами для внутрішнього огляду. Трубопроводи і трубопровідна арматура запроектовані згідно "Правил влаштування і безпечної експлуатації трубопроводів пара і гарячої води".

Запірна і регулююча арматура встановлена в легкодоступних для обслуговування місцях. Всі трубопроводи розміщені не нижче 2,2 м над проходами.

Прилади вимірювання, контролю, регулювання і дистанційного керування, а також регулюючі органи і пристрої встановлені в місцях, зручних для обслуговування, або передбачені майданчики обслуговування пристроїв.

На механізмах і пристроях, які працюють в автоматичному режимі, вивішуються попереджувальні написи.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виробничі ділянки, які зв'язані електроблокуванням обладнання, оснащуються також звуковою і світловою попереджуючою і аварійною сигналізацією.

Кожна поява світлової сигналізації супроводжується звуковим сигналом.

## 6.2 Пожежна безпека

### а) Загальна частина.

Но вибуховій, вибухопожежній і пожежній небезпеці приміщення сушильного відділення відноситься до категорії “Б” і до II ступені вогнестійкості.

Протипожежна безпека приміщення досягається застосуванням конструкцій і матеріалів, що мають необхідну границю вогнестійкості і які забезпечують приміщенню необхідну ступінь вогнестійкості.

Для евакуації людей з приміщення з всіх поверхів існує два розподілених виходи. Один- через східцеву клітку безпосередньо на вулицю, інший- в сусіднє приміщення (в продуктове відділення).

Роботи по влаштуванню іскронедіаючих підлог виконуються згідно з вимогами «Підлоги. Правила виконання і прийняття робіт».

Металеві підлоги покрити гумовими килимками. Металічні косоури і балки майданчиків покрити вогнезахисним складником ОФП-ММ товщиною 40 мм.

Проектом розроблені наступні заходи:

- безперебійна подача води на внутрішнє і зовнішнє пожежогасіння;
- забезпечення розрахункових напорів і витрат води з розрахунку 15,0 л/с на внутрішнє пожежогасіння і 30,0 л/с на зовнішнє пожежогасіння;
- два джерела енергоживлення від електросистеми і дизеля;
- встановлення в сушильному відділенні (на входах) пожежних кранів в пожежних шафах, що допускають розміщення в них 2-х ручних

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вогнегасників (решта пожежних кранів встановлюється в пожежних шафах);

- розміщення на зовнішніх мережах пожежних гідрантів з розрахунку тушіння джерела пожежі з 2-х точок довжиною не більш як 150 м;
- кільцеві мережі з відмикаючою арматурою, яка встановлюється в криницях із збірних залізобетонних елементів.

б) Розрахунок необхідної кількості води на пожежогасіння.

$$Q = \frac{3 \cdot 3600 \cdot (n_1 + n_2)}{1000}, [\text{м}^3]$$

де: 3600 та 1000 - перевідні коефіцієнти відповідно години в секунди і літрів в м<sup>3</sup>.

n<sub>1</sub>- витрата води на внутрішнє пожежогасіння, (n<sub>1</sub> = 15 л/с);

n<sub>2</sub>- витрата води на зовнішнє пожежогасіння (n<sub>2</sub> = 30 л/с), виходячи з того що відділення пожежонебезпекою відноситься до категорії «Б», ступінь вогнестійкості- «П», та об'єм приміщення рівний

$$V_{\text{пр}} = L \cdot S \cdot H$$

де L - довжина; S - ширина; H - висота сушильного відділення;

V<sub>пр</sub>=39·15·12=7020 м<sup>3</sup>, то n<sub>2</sub> = 30л/с.

$$Q = \frac{3 \cdot 3600 \cdot (15 + 30)}{1000} = 486 [\text{м}^3]$$

в) Пожежна сигналізація.

Для своєчасного оповіщення про пожежу передбачена автоматична пожежна сигналізація.

В якості автоматичних сповіщувачів прийняті теплові пожежні сповіщувачі ДПС-038.

Підключення пожежних сповіщувачів ДПС-038 до прийомної станції ППС-3 здійснюється через інтервально-виконавчі органи ПІО-017, які встановлюються в приміщенні мотор-генераторної. При виході на східцевий майданчик кожного поверху встановлені ручні пожежні сповіщувачі типу ИПР, які підключаються безпосередньо до ГПС-3 через телефонну коробку БКТ 20х2.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шлейфи пожежної сигналізації від кожного ДПС-038 до відповідного ПІО-17 виконані проводом ПВ 1х1,0 мм<sup>2</sup>, що прокладається в сталевих трубах по перекриттю відповідного поверху. Для заземлення корпусу пожежних сповісників використовується провід ПВ 1х1,0 мм<sup>2</sup>. Розгалуження до кожного сповісника від магістрального нульового проводу здійснюється в коробці КТ 040. Сповісник заземлюють через існуючий на його корпусі заземлюючий зажим. Основні визначення та методики розрахунку було взято з літератури [18], [19], [20].

Таблиця 6.4. Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Речовини, що мають обіг у виробництві	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах	Горючість, займистість	Показники пожежо- та вибухонебезпечності			Межа запалення		Вибухонебезпечні суміші з повітрям		Вогнегасні засоби
			Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання	% об'ємних	мг/м <sup>3</sup>	Категорія	Група	
Кристаліч	Газ	Легкогорюч	-	470	500	-	-	-	-	Вода, піна
Гума	Тв.	Важко	-	150	150	-	-	-	-	Вода, піна
Текстоліт	Тв.	Важкого	-	358	358	-	-	-	-	Вогнегасники



## Висновок

В результаті виконання дипломного проекту проаналізовано особливості процесу сушки кристалічних матеріалів.

Розраховані матеріальний та тепловий баланси. Обрано математичну модель процесу конвективного сушіння у вигляді системи диференціальних рівнянь для сушильної і охолоджувальної камери та розроблено програмний модуль на мові Visual C# який вирішує ці системи методом Рунге-Кутти.

Обрана структура та розроблена схема автоматизації процесу сушки кристалічних матеріалів, яка забезпечує проведення процесу сушки згідно технологічного регламенту.

Проведено аналіз та оцінку економічної ефективності виробництва. Розрахована період повернення капіталовкладень, собівартість продукту та рентабельність. Рентабельність складає 14,4 %, термін повернення капіталовкладень 6,95 років.

Запропонована система правил і заходів з охорони праці, що спрямовані на забезпечення безпеки на даному виробництві.

Таким чином, проект вирішує поставлені задачі, які були передбачені метою даного проекту.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаної літератури

1. Кречетов И. В. Сушка древесины,. М.: Лесная пром-сть, 1980. 432 с.
2. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002 . 1018 с.
3. Сажин Б. С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. 320 с.
4. Троицкий Х. Л Строительные машины. М. Госстройиздат, 1978. 446с.
5. Расчет и проектирование сушильных аппаратов. М.: 16с .
6. Знаменский Г. М. Технологическое оборудование свеклосахарных и рафинадных заводов. Москва: ПищеПромИзд-во, 1957. 371с.
7. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии М.: Химия, 1971. 783с.
8. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств К., Высшая школа 1991
9. Гартман Т. Н., Клушин Д. В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов. М.: ИКЦ «Академкнига»., 2006. 416 с.
10. Губарева В. В. Расчет и проектирование конвективных сушильных установок. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 118с.
11. Бойко Т.В., Бендюг В. І., Потяженко І. О. Математичне моделювання та застосування ЕОМ в хімічній технології. К.: НТУУ «КПІ», 2007. 128с.
12. Колесникова Т. К. Отопление, вентиляция, сушка. Москва: Легкая индустрия, 1972. – 238с.
13. Иванов А. О. Теорія автоматичного керування. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. 2003..250 с.
14. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації. К.: НТУУ «КПІ», 2008. 236 с.

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Борщевский П. П. Свиргун М.Д. Экономика, организация и планирование сахарного производства. М.: Легкая и пищевая промышленность 1982. 248с.
16. Ельсунов В. П. Специан Л. М Экономический словарь хозяйственника. Минск: «Беларусь» 1991. 206с.
17. Герасимчука В.Г., Розенплентера А.Е. Економіка підприємства. К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. 264 с.
18. Ткачук К. Н. Основи охорони праці: К.: Основа. 2006. 448 с.
19. Ткачук К.Н., Зацарный В.В., Сабарно Р.В. и др. Охрана труда и промышленная безопасность. Киев: Либра, 2010. 559 с.
20. Ландер А. Б., Попов А. О., Розенгарт И. В., Шепшелевич Л. А. Дипломное проектирование сахарных заводов. 1971. 312с.
21. Баранцев В. И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. М.: Агропромиздат 1985. 135с.
22. Лекае В. М., Лекае А. В. Процессы и аппараты химической промышленности. М.: «Висшая школа» 1977. 255с.
23. Силин П.М. Технология сахара. М.: Пищевая промышленность 1987. 625с.
24. Павлов, К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: «Химия», 1981. 560с.
25. Датчики давления. URL: [http://proton-st.ru/datchiki\\_davleniya\\_wika](http://proton-st.ru/datchiki_davleniya_wika)
26. Автоматика Siemens . URL: <http://www.vec-ing.ru/?do=menu&id=5234>

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Додатки

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Документ MathCad. Розрахунок матеріальних балансів

$G_p$  - маса вологого матеріалу поступаючого на сушіння, кг/с

$G_k$  - маса висушеного кристалічного матеріалу, кг/с

$\omega_p, \omega_k$  - початкова і кінцева вологість матеріалу відповідн, %

$T_{mp}, T_{mk}$  - температура кристалічного матеріал, градусів цельсія

$T_{пов0}$  - температура повітря перед калорифером

$T_{пов1}$  - температура повітря після калорифера

$T_{пов2}$  - температура повітря після сушарки

$\phi_{пов0}$  - відносна вологість повітря після калориферу, %

$\phi_{пов2}$  - відносна вологість повітря після сушарки, %

**W** - маса води, виділяємої з матеріалу при сушінні, кг/с

L - витрати сухого повітря

$$G_k := 27.77 \quad \omega_p := 0.8 \quad \omega_k := 0.1 \quad T_{mp} := 65 \quad T_{mk} := 25$$

$$T_{пов0} := 20 \quad \phi_{пов0} := 65 \quad T_{пов1} := 85 \quad T_{пов2} := 50 \quad \phi_{пов2} := 30$$

**Матеріальний баланс виражається рівняннями:**

- по всьому матеріалу, що підлягає висушуванню:

$$G_p = G_k + W$$

- по абсолютно сухій речовині в висушуваному матеріалі:

$$G_p = \frac{100 - \omega_p}{100} = G_k \cdot \frac{100 - \omega_k}{100}$$

$$G_p := G_k \cdot \frac{100 - \omega_k}{100 - \omega_p} = 27.966$$

Метою складання матеріального балансу є визначення маси води W, що видаляється при сушінні матеріалу

$$W := G_p - G_k = 0.196$$

Для визначення кількості потрібного повітря для сушіння кристалічного матеріалу по параметром повітря перед калорифером  $T_{пов0} := 20$ ,  $\phi_{пов0} := 65$  за допомогою діаграми I-x для вологого повітря знаходимо його вологість:

$$x_0 := 0.01$$

**При нагріванні в калорифері вологомiсткiсть повітря не змінюється.**

По I-x діаграмі знаходимо вогомiст повітря після сушарки:

$$x_2 := 0.025$$

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

$$L \cdot x_0 + W = L \cdot x_2$$

З рівняння балансу визначаємо витрату сохого повітря на сушарку:

$$L := \frac{W}{x_2 - x_0} = 13.064 \quad \text{кг/с} \quad L1 := L \cdot 3600 = 4.703 \times 10^4 \quad \text{кг/год}$$

Об'ємна витрата повітря при температурі 20 градусів:

$$\rho_{\text{пов}} := 1.164$$

$$V_{\text{пов}} := \frac{L1}{\rho_{\text{пов}}} = 4.04 \times 10^4 \quad \text{м}^3/\text{год}$$

Визначаємо потрібно кількість повітря для охолодження 1кг кристалічного матеріалу по такій формулі:

Ткрм1 - температура кристалічного матеріалу перед охолодженням

Ткрм2 - температура кристалічного матеріалу після охолодження

$$T_{\text{крм1}} := 56 \quad T_{\text{крм2}} := 25$$

По I-d діаграмі знаходимо вогоміст повітря перед охолоджуючим пристроєм:

$$d_0 := 10 \quad \text{г вл/кг с.пов}$$

$$L' := \frac{0.25(T_{\text{крм1}} - T_{\text{крм2}})}{\left(0.24 + 0.47 \cdot \frac{d_0}{1000}\right)(T_{\text{пов2}} - T_{\text{пов0}})} = 1.056$$

Секундна витрата холодного повітря на охолодження:

$$L2 := L' \cdot G_{\text{к}} = 29.317$$

Для охолодження 100 т/год кристалічного матеріалу потрібно повітря

$$L_{\text{пов}} := G_{\text{к}} \cdot L' \cdot 3600 = 1.151 \times 10^5$$

Об'ємна витрата повітря для охолодження кристалічного матеріалу:

$$V_{\text{пох}} := \frac{L_{\text{пов}}}{\rho_{\text{пов}}} = 9.886 \times 10^4$$

## Розрахунок матеріальних балансів в ChemCAD

Calculation mode : Sequential  
Flash algorithm : Normal

Equipment Calculation Sequence  
4 5 2 1 3

No recycle loops in the flowsheet.

Run Time Error and Warning Messages:

\*\*\* Equip. 3 \*\*\*

Warning: HTXR, Pinch zone.

Overall Mass Balance	kmol/h		kg/h	
	Input	Output	Input	Output
Table Sugar	292.141	292.141	100000.000	100000.000
Air	5746.606	5746.606	166370.000	166370.000
Water	131.502	131.502	2369.000	2369.000
Total	6170.249	6170.249	268739.000	268739.000

Overall Energy Balance	MJ/h	
	Input	Output
Feed Streams	-678217	
Product Streams		-678725
Total Heating	3349.69	
Total Cooling	-3857.86	
Power Added	0	
Power Generated	0	
Total	-678725	-678725

## Документ MathCad. Визначення коефіцієнта тепловіддачі для сушильної та охолоджувальної камер

Для розрахунку конвективної тепловіддачі застосовують емпіричні рівняння, які встановлюють залежність критерія Нуссельта від критерія Рейнольдса

Критерій Нуссельта:  $Nu = \alpha \cdot \frac{l}{\lambda}$

Критерій Рейнольдса:  $Re = v \cdot \frac{l}{\nu}$

Де  $v$  - середня швидкість повітря;  
 $l$  - визначальний лінійний розмір;  
 $\lambda$  - коефіцієнт теплопровдності повітря;  
 $\nu$  - кінетичний коефіцієнт в'язкості повітря;

Визначимо середню швидкість повітря в сушильних трубах

Діаметр сушильної труби (з документації сушильної установки):  $d := 1.3 \text{ м}$

$$S_{tr} := \frac{3.14 \cdot d^2}{4} \quad S_{tr} = 1.327 \text{ м}^2$$

Площа поперечного перерізу 6 шт. сушильних труб:

$$S_{zar} := 6 \cdot S_{tr} \quad S_{zar} = 7.96 \text{ м}^2$$

Об'ємна витрата повітря на сушарку (взято з матеріального балансу):

$$V_{п} = 44050 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad V_{п} := 12.23 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Середня швидкість повітря в сушильних трубах:

$$v_{п} := \frac{V_{п}}{S_{zar}} \quad v_{п} = 1.536 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Середня температура сушильного агента:

$$t_{cp} = \theta + \Delta t_{cp}$$

де  $\theta$  - температура матеріалу  $\theta_1 := 65$   $\theta_2 := 60$   $t_1 := 85$   $t_2 := 62$

$$\Delta t_6 := t_1 - \theta_1 \quad \Delta t_m := t_2 - \theta_2 \quad \Delta t_6 = 20 \quad \Delta t_m = 2 \quad \theta_{cp} := \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

де  $t_1, t_2$  - температура сушильного агента відповідно на вході в сушарку і на виході з неї

$$\Delta t_{cp} := \frac{(\Delta t_6 - \Delta t_m)}{\log\left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}\right)} \quad \Delta t_{cp} = 18$$

$$t_{cp} := \theta_{cp} + \Delta t_{cp} \quad t_{cp} = 80.5$$

Визначаємо лінійний розмір частинки матеріалу:  $l_{max} := 0.002$   $l_{min} := 0.001$

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88



$$I_{\text{ср}} := \sqrt{I_{\text{max}} \cdot I_{\text{min}}} \quad I = 1.414 \times 10^{-3}$$

По таблиці фізичних властивостей повітря при середній температурі сушильного агента знаходимо величини:

$$c := 1007.8 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$$

$$\lambda := 0.02995 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{C}}$$

$$\text{Pr} := 0.6955$$

$$\nu := \frac{21.125}{10^6} \quad \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\text{Знаходимо критерій Рейнольдса:} \quad \nu = 2.112 \times 10^{-5} \quad \text{vп} = 1.536$$

$$\text{Re}' := \frac{\text{vп} \cdot 1.3}{\nu} \quad \text{Re}' = 9.455 \times 10^4$$

$$\text{Re} := 95161 \quad \text{Gu} := \frac{80.5 - 32}{273 + 80.5} = 0.137$$

Знаходимо критерій Нуссельта:

$$\text{Nu} := 2 + 1.05 \cdot \text{Re}^{0.5} \cdot \text{Pr}^{0.33} \cdot \text{Gu}^{0.175} = 204.961$$

Об'ємний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha := \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{1} \quad \alpha = 4.341 \times 10^3 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{C}}$$

$$\text{Масова витрата повітря} \quad G := 51280 \quad \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

$$\text{Масова витрата матеріалу} \quad \text{Gh} := 100000 \quad \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

$$\text{Діаметр частинок матеріалу} \quad d := 0.001 \quad \text{м}$$

$$\text{Коефіцієнт тепловіддачі від повітря матеріалу} \quad \alpha := 4327 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{C}}$$

$$\text{Теплоємність повітря} \quad c := 1005 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$$

$$\text{Питома теплота} \quad q := 1407 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$$

$$\text{Порозність матеріалу} \quad \varepsilon := 0.4$$

$$\text{Площа поперечного перерізу} \quad S := \pi \cdot \frac{1.3^2}{4} \cdot 6 \quad S = 7.964$$

$$\text{Температура вологого термометра} \quad T_m := 32 \quad \text{оC}$$

$$\text{Густина кристалічного матеріалу} \quad \rho := 878 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

ORIGIN := 1

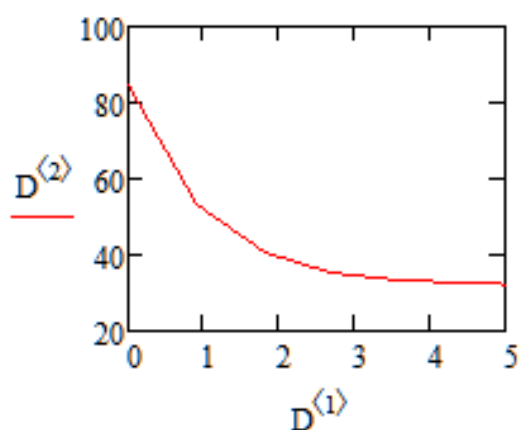
$$f(t, x) := \begin{bmatrix} \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d} \cdot \alpha \cdot (x_1 - T_m) \cdot S \\ -G \cdot c \\ \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d} \cdot \alpha \cdot (x_1 - T_m) \cdot S \\ Gh \cdot \rho \cdot q \end{bmatrix}$$

$$x0 := \begin{pmatrix} 85 \\ 0.01 \end{pmatrix}$$

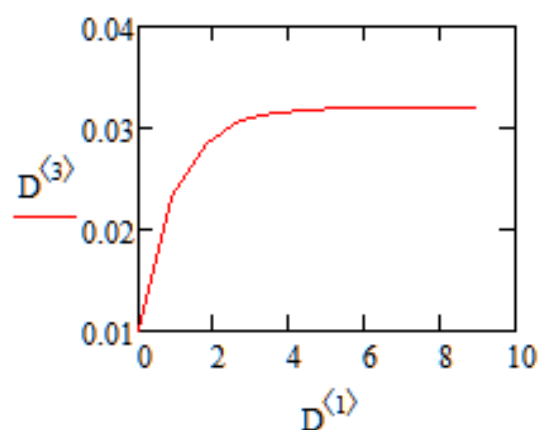
D := rkfixed(x0, 0, 9, 10, f)

D =

	1	2	3
1	0	85	0.01
2	0.9	53.384	0.023
3	1.8	40.627	0.029
4	2.7	35.481	0.031
5	3.6	33.404	0.032
6	4.5	32.567	0.032
7	5.4	32.229	0.032
8	6.3	32.092	0.032
9	7.2	32.037	0.032
10	8.1	32.015	0.032
11	9	32.006	0.032



a)



б)

$$\mathbf{T} := \begin{pmatrix} 62 \\ 30 \end{pmatrix} \quad v1 := 0.4 \quad T1н := 65 \quad F := 271 \quad Ct1 := 1407$$

$$v2 := 2.46 \quad T2н := 25 \quad L := 9 \quad Ct2 := 1006$$

$$K := 3.25 \cdot \frac{(1.165 \cdot 2.52)^{0.8}}{1.6^{0.2}} = 7.002$$

Розв'язання задачі:

(матриця температур теплоносіїв у точці входу гарячого теплоносія).

$$\mathbf{G}(t, \mathbf{T}) := \begin{bmatrix} -F \cdot K \cdot \frac{(T_0 - T_1)}{L \cdot v1 \cdot Ct1} \\ -F \cdot K \cdot \frac{(T_0 - T_1)}{L \cdot v2 \cdot Ct2} \end{bmatrix} \quad T_0 = 62 \quad T_1 = 30$$

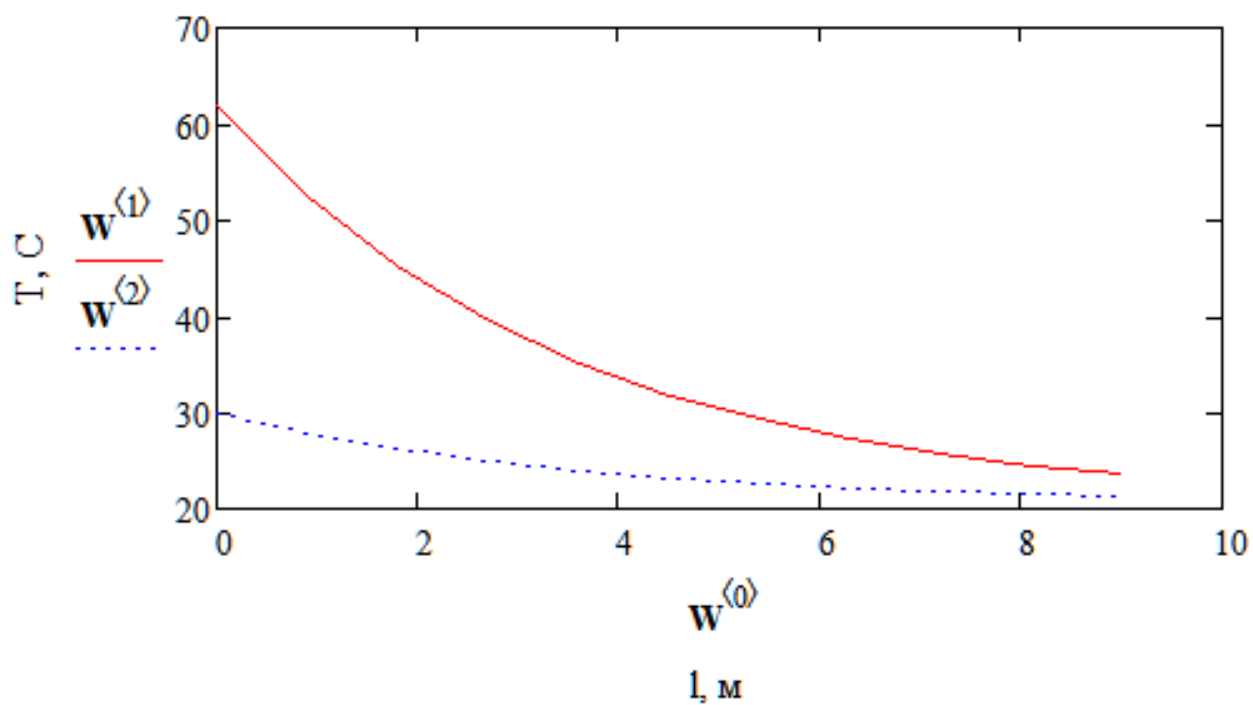
(матриця правих частин диференціальних рівнянь математичної моделі TOA)

$$\mathbf{W} := \text{rkfixed}(\mathbf{T}, 0, 9, 10, \mathbf{G})$$

Розв'язання математичної моделі

	0	1	2
0	0	62	30
1	0.9	52.502	27.84
2	1.8	45.181	26.175
3	2.7	39.54	24.892
4	3.6	35.192	23.903
5	4.5	31.841	23.141
6	5.4	29.259	22.554
7	6.3	27.269	22.102
8	7.2	25.735	21.753
9	8.1	24.553	21.484
10	9	23.642	21.277

Профілі розрахованих температур наведені на графіку



## Програмний код

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace Diploma
{
    public partial class Form3 : Form
    {
        public Form3()
        {
            InitializeComponent();

            private void вихідToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
            {
                this.Close();
            }

            double g_0, v3_0, d1_0, A_0, c3_0, q_0, u_0, Tvh_0, Tvuh_0, e_0, dh_0, ds_0,
            sh_0, h_0, ro = 878, Tm1 = 32;

            private void зберегтиToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
            {
                v1.Text = " ";
            }
        }
    }

```

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

v2.Text = " ";  
 c1.Text = " ";  
 c2.Text = " ";  
 l1.Text = " ";  
 dl.Text = " ";  
 sh55.Text = " ";  
 d55.Text = " ";  
 Tvh44.Text = " ";  
 Tm44.Text = " ";  
 d3.Text = " ";  
 sh3.Text = " ";  
 V3.Text = " ";  
 lmax.Text = " ";  
 lmin.Text = " ";  
 c4.Text = " ";  
 lyamda.Text = " ";  
 Pr.Text = " ";  
 nu.Text = " ";  
 Tm4.Text = " ";  
 Tvh3.Text = " ";  
 Tvuh3.Text = " ";  
 Tvhm3.Text = " ";  
 Tvuhm3.Text = " ";  
 B.Text = " ";  
 r.Text = " ";  
 do3.Text = " ";  
 V33.Text = " ";  
 ds3.Text = " ";

```

g.Text = " ";
v.Text = " ";
d1.Text = " ";
c3.Text = " ";
q.Text = " ";
u.Text = " ";
Tvh.Text = " ";
Tm3.Text = " ";
E.Text = " ";
dh.Text = " ";
ds.Text = " ";
sh.Text = " ";
h.Text = " ";
alphas.Text = " ";
k.Text = " ";
alphaoh.Text = " ";
A.Text = " ";
tser.Text = " ";
dataGridView1.Rows.Clear();
dataGridView2.Rows.Clear();
chart1.Series[0].Points.Clear();
chart1.Series[1].Points.Clear();
chart2.Series[0].Points.Clear();
chart3.Series[0].Points.Clear();
}

```

```
private void
```

```
дляРішенняМатМоделіДляОхолоджувальноїКамериToolStripMenuItem_Click(obj
ect sender, EventArgs e)
```

```

{
    v1.Text = "0,4";
    v2.Text = "2,46";
    c1.Text = "1407";
    c2.Text = "1006";
    l.Text = "9";
    dl.Text = "0,9";
    sh55.Text = "6";
    d55.Text = "1,6";
    Tvh44.Text = "62";
    Tm44.Text = "30";
}

```

private void дляРозрахункуКоефіцієнтівToolStripMenuItem\_Click(object sender, EventArgs e)

```

{
    d3.Text = "1,3";
    sh3.Text = "6";
    V3.Text = "44050";
    lmax.Text = "0,002";
    lmin.Text = "0,001";
    c4.Text = "1006";
    lyamda.Text = "0,02995";
    Pr.Text = "0,6955";
    nu.Text = "0,000021";
    Tm4.Text = "32";
    Tvh3.Text = "85";
    Tvuh3.Text = "62";
}

```



```

Tvhm3.Text = "65";
Tvuhm3.Text = "60";
B.Text = "3,2";
r.Text = "1,165";
do3.Text = "1,6";
V33.Text = "115000";
ds3.Text = "6";
}

```

```
private void
```

```
дляРішенняМатмоделіСушильноїКамериToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
```

```

{
    g.Text = "51270";
    v.Text = "100000";
    d1.Text = "0,001";
    c3.Text = "1005";
    q.Text = "1407";
    u.Text = "0,01";
    Tvh.Text = "85";
    Tm3.Text = "32";
    E.Text = "0,4";
    dh.Text = "0,9";
    ds.Text = "1,3";
    sh.Text = "6";
    h.Text = "9";
}

```

```
double V3_0, Tvhm_0, Tvuhm_0, Tm4_0, lmax_0, lmin_0, c4_0, lyamda_0,
Pr_0, nu_0, tser_0, K22;
```

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
```

```
Tvh_0 = Convert.ToDouble(Tvh3.Text);
```

```
Tvuh_0 = Convert.ToDouble(Tvuh3.Text);
```

```
Tvhm_0 = Convert.ToDouble(Tvhm3.Text);
```

```
Tvuhm_0 = Convert.ToDouble(Tvuhm3.Text);
```

```
double tb = Tvh_0 - Tvhm_0;
```

```
double tm = Tvuh_0 - Tvuhm_0;
```

```
double tsrm = (Tvhm_0 + Tvuhm_0) / 2;
```

```
double deltsr = (tb - tm) / (Math.Log10(tb / tm));
```

```
double tsr = tsrm + deltsr;
```

```
tser.Text = Convert.ToString(tsr);
```

```
prom.Text += "большое " + tb + "\r\n" + "Меньшое" + tm + "\r\n" +
"Логарифм" + Math.Log10(tb / tm) + "\r\n";
```

```
}
```

```
private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
```

```
{
```

```
ds_0 = Convert.ToDouble(d3.Text);
```

```
sh_0 = Convert.ToDouble(sh3.Text);
```

```
V3_0 = Convert.ToDouble(V3.Text);
```

```
lmax_0 = Convert.ToDouble(lmax.Text);
```

```
lmin_0 = Convert.ToDouble(lmin.Text);
```

```
c4_0 = Convert.ToDouble(c4.Text);
```

```
lyamda_0 = Convert.ToDouble(lyamda.Text);
```

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

```

Pr_0 = Convert.ToDouble(Pr.Text);
nu_0 = Convert.ToDouble(nu.Text);
tser_0 = Convert.ToDouble(tser.Text);
Tm4_0 = Convert.ToDouble(Tm4.Text);
double S = ((3.14 * (ds_0 * ds_0)) / 4);
double Szag = S * sh_0;
double vp = (V3_0 / 3600) / Szag;
double llin = Math.Pow((lmax_0 * lmin_0), 0.5);
double perum = 3.14 * ds_0;
double dlin = (4 * S) / perum;
//Критерій Рейнольдса

double Re = (vp * dlin) / nu_0;

// Gufman
double Gu = (tser_0 - Tm4_0) / (273 + tser_0);
// Nuselt
double Nu = 2 + (1.05 * (Math.Pow(Re, 0.5)) * (Math.Pow(Pr_0, 0.33)) *
(Math.Pow(Gu, 0.175)));
// kof alpha for syska
double alphas_0 = (Nu * lyamda_0) / llin;
alphas.Text = Convert.ToString(alphas_0);
A.Text = Convert.ToString(alphas_0);
prom.Text += "Площа поперечного перерізу для 1 труби " + S + "\r\n" +
"Площа загальна для 6 труб " + Szag + "\r\n" +
"Швидкість повітря " + vp + "\r\n" + "Лінійний розмір" + llin + "\r\n" +
"Змочений периметр " + perum + "\r\n" + "Лінійний розмір " + dlin + "\r\n" +

```

```

"Критерій Рейнольдса " + Re + "\r\n" + "Критерій Гуфмана " + Gu +
"\r\n" + "Критерій Нусельта " + Nu + "\r\n";
}
double b_0, r_0, w_0, d_0, alfa_0, V4_0;
private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    b_0 = Convert.ToDouble(B.Text);
    r_0 = Convert.ToDouble(r.Text);
    d_0 = Convert.ToDouble(do3.Text);
    V4_0 = Convert.ToDouble(V33.Text);
    sh_0 = Convert.ToDouble(ds3.Text);
    double S1 = ((3.14 * (d_0 * d_0)) / 4);
    double Szag = S1 * sh_0;
    w_0 = (V4_0 / 3600) / Szag;

    alfa_0 = b_0 * (Math.Pow((r_0 * w_0), 0.8) / Math.Pow(d_0, 0.2));
    alphaoh.Text = Convert.ToString(alfa_0);
    k.Text = Convert.ToString(alfa_0);
}
private void розрахунокСушильноїКамериToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)
{
    g_0 = Convert.ToDouble(g.Text);
    v3_0 = Convert.ToDouble(v.Text);
    d1_0 = Convert.ToDouble(d1.Text);
    A_0 = Convert.ToDouble(A.Text);
    c3_0 = Convert.ToDouble(c3.Text);
    q_0 = Convert.ToDouble(q.Text);

```

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

u_0 = Convert.ToDouble(u.Text);
Tvh_0 = Convert.ToDouble(Tvh.Text);
Tm1 = Convert.ToDouble(Tm3.Text);
e_0 = Convert.ToDouble(E.Text);
dh_0 = Convert.ToDouble(dh.Text);
ds_0 = Convert.ToDouble(ds.Text);
sh_0 = Convert.ToDouble(sh.Text);
h_0 = Convert.ToDouble(h.Text);
double j;
double S = ((3.14 * (ds_0 * ds_0)) / 4) * sh_0;
double a1, a2, a3, a4, b1, b2, b3, b4;
for (j = 0; j < h_0 + dh_0; j += dh_0)
{
    dataGridView2.Rows.Add(Math.Round(j, 3), Math.Round(Tvh_0, 4),
Math.Round(u_0, 4));
    chart2.Series[0].Points.AddXY(j, Tvh_0);
    chart3.Series[0].Points.AddXY(j, u_0);
    a1 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * (Tvh_0 - Tm1) * S) / (-g_0 *
c3_0));
    b1 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * (Tvh_0 - Tm1) * S) / (v3_0 *
q_0 * ro));
    a2 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * (Tvh_0 + a1 / 2 - Tm1) * S) / (-
g_0 * c3_0));
    b2 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * ((Tvh_0 + b1 / 2) - Tm1) * S) /
(v3_0 * q_0 * ro));
    a3 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * (Tvh_0 + a2 / 2 - Tm1) * S) / (-
g_0 * c3_0));

```

```

b3 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * ((Tvh_0 + b2 / 2) - Tm1) * S) /
(v3_0 * q_0 * ro));

```

```

a4 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * ((Tvh_0 + a3) - Tm1) * S) / (-
g_0 * c3_0));

```

```

b4 = dh_0 * (((6 * (1 - e_0) / d1_0) * A_0 * ((Tvh_0 + b3) - Tm1) * S) /
(v3_0 * q_0 * ro));

```

```

Tvh_0 += (0.166) * (a1 + 2 * a2 + 2 * a3 + a4);

```

```

u_0 += (0.166) * (b1 + 2 * b2 + 2 * b3 + b4);

```

```

prom.Text += "u-" + u_0 + "\r\n";

```

```

}

```

```

}

```

```

double v1_0, v2_0, c1_0, c2_0, l_0, k_0, dl_0, f_0, t1, Tm;

```

```

private void cold_box_Click(object sender, EventArgs e)

```

```

{

```

```

v1_0 = Convert.ToDouble(v1.Text);

```

```

v2_0 = Convert.ToDouble(v2.Text);

```

```

c1_0 = Convert.ToDouble(c1.Text);

```

```

c2_0 = Convert.ToDouble(c2.Text);

```

```

l_0 = Convert.ToDouble(l.Text);

```

```

k_0 = Convert.ToDouble(k.Text);

```

```

dl_0 = Convert.ToDouble(dl.Text);

```

```

sh_0 = Convert.ToDouble(sh55.Text);

```

```

d_0 = Convert.ToDouble(d55.Text);

```

```

t1 = Convert.ToDouble(Tvh44.Text);

```

```

Tm = Convert.ToDouble(Tm44.Text);

```

```

f_0 = 3.14 * d_0 * sh_0 * l_0;

```

```

double i;

```

```

double k1, k2, k3, k4, m1, m2, m3, m4;
for (i = 0; i < l_0+dl_0; i += dl_0)
{
    dataGridView1.Rows.Add(Math.Round(i, 3), Math.Round(t1, 4),
Math.Round(Tm, 4));
    chart1.Series[0].Points.AddXY(i, t1);
    chart1.Series[1].Points.AddXY(i, Tm);
    k1 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * (t1 - Tm)) / (c1_0 * v1_0 * l_0));
    m1 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * (t1 - Tm)) / (c2_0 * v2_0 * l_0));
    k2 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * (t1 + (k1) / 2 - Tm)) / (c1_0 * v1_0 * l_0));
    m2 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * (t1 + m1 / 2 - Tm)) / (c2_0 * v2_0 * l_0));
    k3 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * (t1 + (k2) / 2 - Tm)) / (c1_0 * v1_0 * l_0));
    m3 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * (t1 + m2 / 2 - Tm)
/ (c2_0 * v2_0 * l_0));
    k4 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * ((t1 + (k3)) - Tm)) / (c1_0 * v1_0 * l_0));
    m4 = dl_0 * ((-f_0 * k_0 * (t1 + m3 - Tm)) / (c2_0 * v2_0 * l_0));
    t1 += (0.166) * (k1 + 2 * k2 + 2 * k3 + k4);
    Tm += (0.166) * (m1 + 2 * m2 + 2 * m3 + m4);
}

}

}

}

```

## Додаток Д

## Специфікація устаткування

Таблиця Д.1 Засоби автоматизації

Позиція на схемі	Назва параметра	Місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Завод-виробник	К-ть
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1а, 2а, 3а, 4а, 5а, 6а	Витрата	Трубопровід		Трубопровід	Вихровий витратомір Клас точності 0.1. Температура вимірюваного середовища від -40 до 230 °C Вих. сигнал 4 – 20 мА.	SITRANS FX330	Siemens, Німеччина	6
7а, 8а, 9а, 10а, 11а, 12а, 13а	Температура	Трубопровід	130 °C	Трубопровід	Термоперетворювач опору мідний, НСХ 50М, діапазон вимірювання -50...+150 °C, діапазон умовних тисків 0,4 МПа, інерційність 15 с, клас допуску В	TCM-1293-01	НВО «Електротермія», Приладобудівний з-д, м. Луцьк	7
14а, 15а, 16а, 17а		Двигуни	400 °C	Двигун	Цифровий термометр Клас точності 0.5. Температура вимірюваного середовища від -20 до 400 °C Вих. сигнал 4 – 20 мА.	DTM	KOBOLD Messring GmbH, Німеччина	4
HL1, HL2				Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна із червоним індикатором, U жив = 220 В, 50/60 Гц	ЛС 47-2	НВП «Мікрометр» м. Сіверодонецьк	2

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		104



Продовження до таблиці Д.1

18а, 19а	Тиск		0,16МПа		Датчик тиску WKA Діапазон вимірювання від 0 до 0,16МПа Клас точності 0.5 Вих. сигнал 4 – 20 мА.	S-11	WKA, Німеччина	2
SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7, SB8, SB9, SB10, SB11, SB12, SB13, SB14, SB15, SB16, SB17, SB18, SB19, SB20, SB21, SB22	Витрата	Устаткування М – 1, М – 2, М – 3, М – 4, М – 5, М – 6, М – 7, М – 8, М – 9, М – 10, М – 11		Щит керування	Пост керування кнопочий, кількість елементів управління – 2 Номинальна напруга ізоляції (за змінного струму частотою 50/60 Гц) 660 В, номінальний тепловий струм 10 А; температура довкілля від (- 40) °С до 40 °С, відносна вологість повітря 98 %, комутаційна зносостійкість 1 000 000 циклів	ПКУ 15- 21- 131-УЗ	ЗАТ «Променергоавтоматика», м. Київ	22
SA1 - SA11				Місцевий	Кнопка запобіжного вимикання Номінальна робоча напруга: змінна (частота 50...60 Гц) 660 В, постійна – 440 В, номінальний тепловий струм – 10А	КМЕ-5111 УЗ	ТОВ «Кам'янецьПодільський електромеханічний завод», м. Кам'янець Подільський	11

Продовження до таблиці Д.1

МП1, МП2, МП3, МП4, МП5, МП6, МП7, МП8, МП9, МП10, МП11				Місцевий	Пускач магнітний безконтактний нереверсивний I=160А, робоча напруга 220...380 В, потужність 45 кВт	ПМ- 12160210 УЧВ	ВО «Электро-прибор», м.Чебоксари	11
HL3, HL5, HL7, HL9, HL11, HL13, HL15, HL17, HL19, HL21, HL21,				Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна з зеленим індикатором («ПУСК»), Uжив=220 В, 50/60 Гц, d = 27 мм, сила світла 20 мКд	СКЛ-11-3- 2220	ВАТ «Кашинский завод эллектро-аппаратуры», м. Москва	11
HL4, HL6, HL8, HL10, HL12, HL14, HL16, HL18, HL10, HL22, HL24,				Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна з зеленим індикатором («СТОП»), Uжив=220 В, 50/60 Гц, d = 27 мм, сила світла 20 мКд	СКЛ-11-3- 2220	ВАТ «Кашинский завод эллектро-аппаратуры», м. Москва	11

Продовження до таблиці Д.1

1-176, 18а, 19а				Місцеві	Модуль введення аналогових сигналів Число аналогових входів:8 Вихідний сигнал: 4 – 20 мА; Напруга нагрздки: 24 V	SM 331	Siemens, Німеччина	3
1в, 2в, 3в, 4в, 12в, 13в				Місцеві	Модуль виведення аналогових сигналів Число аналогових входів:8 Вихідний сигнал: 4 – 20 мА; Напруга нагрздки: 24 V	SM 332	Siemens, Німеччина	1
1-19				Контролер	Мікроконтролер Напруга: 120/230В Використовує до 32 сигнальних і функціональних модулів Призначений для управління процесом	S7-300	Siemens, Німеччина	1

					ДП ХА 5115 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		107