

**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  
виробництва керамзитового піску»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ХА-51

Семчишена Оксана Олегівна \_\_\_\_\_

Керівник:

доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Складаний Д.М. \_\_\_\_\_

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.

Студентка \_\_\_\_\_  
(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**

Семчишеній Оксані Олегівні

1. Тема проекту Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу звиробництва керамзитового піску, керівник проекту Складаний Денис Миколайович, к.х.н., доц., 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	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)

О.О.Семчишена

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

(підпис)

Д.М.Складаний

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 72 с., 8 рис., 20 табл., 4 додатка, 23 джерела.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КЕРАМЗИТОВОГО ПІСКУ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК, ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ, КЕРАМЗИТОВИЙ ПІСОК, ГЛИНЯНА КРИХТА, ЦИКЛОН

Темою даного проекту є комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу виробництва керамзитового піску.

Метою проекту є проектування схеми процесу виробництва керамзитового піску, визначення основних параметрів, побудовано схему автоматизації та складено математичну модель.

В проекті обґрунтовано норми технологічних режимів, наведена технологічна схема процесу виробництва керамзитового піску.

Було виконано розрахунок основних конструктивних параметрів та перевірочний розрахунок циклону.

Розроблено обчислювальний модуль для проведення розрахунку циклону в середовищі Visual Studio.

Запропоновано схему автоматизації процесу. Обрані необхідні пристрої контролю і регулювання.

Проведено економіко-організаційні розрахунки основних техніко-економічних показників даного процесу та визначено доцільність проведення автоматизації, на основі порівняння показників автоматизованого та неавтоматизованого виробництва.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 72 с., 8 рис., 20 табл., 4 приложения, 23 источника

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ПЕСКА, МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС, АВТОМАТИЗАЦИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ, ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ, КЕРАМЗИТОВЫЙ ПЕСОК, ГЛИНЯНАЯ КРОШКА, ЦИКЛОН

Темой данного проекта является компьютерный расчет процесса производства керамзитового песка.

Целью проекта является проектирование схемы процесса производства керамзитового песка, определение основных параметров, построена схема автоматизации и составлена математическая модель.

В проекте обоснованно нормы технологических режимов, приведена технологическая схема процесса производства керамзитового песка.

Было выполнено расчет основных конструктивных параметров и проверочный расчет циклона.

Разработан вычислительный модуль для проведения расчета циклона в среде Visual Studio.

Предложена схема автоматизации процесса. Выбраны необходимые устройства контроля и регулирования.

Проведено экономически-организационные расчеты технико-экономических показателей данного процесса и определена целесообразность проведения автоматизации, на основе сравнения показателей автоматизированного и неавтоматизированного производства.

## **ABSCTRACT**

Explanatory note has 72 p., 8 fig., 20 tables, 4 appendixes, 23 sources.

COMPUTER MODELING AND AUTOMATION OF THE PROCESS OF PRODUCTION OF CLAYDITE SAND, MATERIAL BALANCE, AUTOMATION, MODELING, COMPUTER CALCULATION, SOFTWARE MODULE, CLAYDITE SAND, GLOW SCREEN, CYCLONE

The project of computer calculation of the production of claydite sand.

The aim of the project is to design a scheme for the production of claydite sand, determine the basic parameters, build an automation scheme and create a mathematical model.

The norms of technological regimes are justified, the technological scheme of the production of claydite sand is given in the project.

The calculation of the main design parameters and the verification calculation of the cyclone were performed.

A computational module for the calculation of a cyclone in the Visual Studio environment has been developed.

The economical and organizational calculations of technical and economic indicators of this process were carried out and the expediency of automation was determined on the basis of a comparison of automated and non-automated production.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень і термінів.....	9
ВСТУП.....	10
1. Аналіз досліджуваного процесу як об'єкту керування.....	11
1.1 Призначення досліджуваного процесу.....	11
1.2 Вихідні речовини для виробництва керамзитового піску...	11
1.3 Опис технологічної схеми виробництва керамзитового піску.....	12
1.4 Опис хімічних реакцій.....	13
1.5 Опис інших технологій виробництва керамзитового піску...	14
2. Розрахунок матеріальних балансів процесу виробництва керамзитового піску .....	15
2.1. Виконання структурного аналізу ХТС.....	15
2.2. Розрахунок матеріального балансу у середовищі Mathcad.....	15
3. Комп'ютерне моделювання циклону .....	16
3.1. Технічне завдання на розробку програмного забезпечення.....	16
3.2. Математичне забезпечення програмного модуля.....	20
3.3. Програмний модуль для розрахунку параметрів циклону та перевірконого розрахунку .....	25
4. Автоматизація технологічної схеми процесу виробництва керамзитового піску.....	29
4.1. Аналіз параметрів технологічної схеми.....	29
4.2. Опис системи автоматизації.....	33
5. Економіко-технічні розрахунки.....	35
5.1. Класифікація .....	35
5.2. Організаційна структура підрозділу підприємства .....	36
5.3. Технологічна підготовка підприємства.....	37
5.4. Визначення оптимального виду руху предметів праці.....	38
5.5. Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва.....	40
5.6. Розрахунок техніко-економічних показників.....	43
5.7. Розрахунок економічної ефективності проведення автоматизації.....	44
6. Вибір засобів із охорони праці .....	50
6.1. Класифікація .....	50

6.2. Пожежна безпека.....	59
ВИСНОВКИ.....	62
Список використаних джерел.....	63
Додаток А.....	66
Додаток Б.....	68
Додаток В.....	69
Додаток Г.....	74



## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ВРПП – види руху предметів праці

КВЕД – Класифікація видів економічної діяльності

САР – система автоматичного регулювання

ХТС – хіміко-технологічна система

## ВСТУП

У сучасному житті, де всі галузі промисловості розвиваються надзвичайно швидко, не можливо обійтися без комп'ютерної техніки. Не можливо знайти жодного підприємства де б не використовувалися комп'ютери.

В хімічному виробництві це є особливо важливо, оскільки з використанням лише ручного керування не можливе протікання хіміко-технологічних процесів, які є складними та потребують підтримання всіх параметрів у межах нормальних значень. Адже хімічне виробництво дуже часто пов'язане і зі шкідливими умовами роботи, і з небезпечністю речовин, які беруть участь у хіміко-технологічних процесах, а також з високими температурами, тисками, значення яких іноді майже досягають критичних. Для нормального проходження цих процесів необхідно здійснювати контроль і регулювання всіх параметрів, від яких залежить проходження хімічного процесу, а також якість цільового продукту виробництва.

Автоматизація – це застосування комплексу засобів, що дозволяють здійснювати виробничі процеси без особистої участі людини, але під її контролем. Автоматизація виробничих процесів приводить до збільшення випуску, зниженню собівартості і поліпшенню якості продукції, зменшує чисельність обслуговуючого персоналу, підвищує надійність і довговічність машин, дає економію матеріалів, поліпшує умови праці і техніки безпеки.

Метою проекту є проектування схеми процесу виробництва керамзитового піску, визначення основних параметрів протікання процесу, автоматизація процесу.

В даній дипломній роботі було проведено комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу виробництва керамзитового піску. Актуальність теми полягає в отриманні керамзитового піску, що є важливим матеріалом для будівельної промисловості.

Хоч будівельна промисловість і є основною галуззю застосування керамзитового піску, але також його іноді використовують для декорацій, ландшафтного дизайну, у флористиці, як засипку для акваріумів та для фільтрації води.

## **1. Аналіз досліджуваного процесу як об'єкту керування**

### **1.1 Призначення досліджуваного процесу**

Цільовим продуктом досліджуваного технологічного процесу є керамзитовий пісок. Керамзитовий пісок це – заповнювач для легких бетонів і розчинів з розміром частинок від 0,14 до 5 мм. Іноді керамзит застосовують, як теплоізоляційну і звукоізоляційну засипку в будівлях. Керамзит фракції пісок використовують як самостійний будматеріал, так і в поєднанні з іншими фракціями. Наприклад, без нього не можна обійтися при засипці підпільного простору – великий керамзит не зможе повністю заповнити кути і важкодоступні місця, тоді як пісок вільно проникне в кожен щілину. Важливим є те, що керамзитовий пісок – екологічно чистий матеріал.

Хоч будівельна промисловість і є основною галуззю застосування керамзитового піску, але також його іноді використовують для декорацій, ландшафтного дизайну, у флористиці, як засипку для акваріумів та для фільтрації води.

### **1.2 Вихідні речовини для виробництва керамзитового піску**

Легкоплавкі глиняні породи різноманітного хіміко-мінералогічного складу і генетичного походження, що слугують сировиною для виробництва керамзиту, зустрічаються в природі в щільному, рихлому і пастоподібному стані. Розм'якшуючись в умовах прискореної термічної обробки, ці породи спучуються за рахунок тиску зсередини газоподібних продуктів, що виділяються в обпалювальній глиняній масі і утворюють склоподібний матеріал з комірчастою структурою.

Основним критерієм придатності глиняної сировини для виробництва керамзитового піску є його здатність спучуватись при термічній обробці при температурі в межах 1000-1250°C і утворювати при цьому матеріал, що має комірчасту будову з об'ємною вагою в межах 200-1350 кг/м<sup>3</sup>.

### 1.3 Опис технологічної схеми процесу виробництва керамзитового піску

Технологічна схема процесу виробництва керамзитового піску передбачає послідовне виконання таких стадій:

- 1) Сушка і підігрів сировини в печі термopідготовки глиняної крихти;
- 2) Спучування сухої глиняної крихти в обертovій печі;
- 3) Охолодження гарячого керамзитового піску в холодильнику;

На рисунку 1.1 наведена технологічна схема процесу виробництва керамзитового піску.

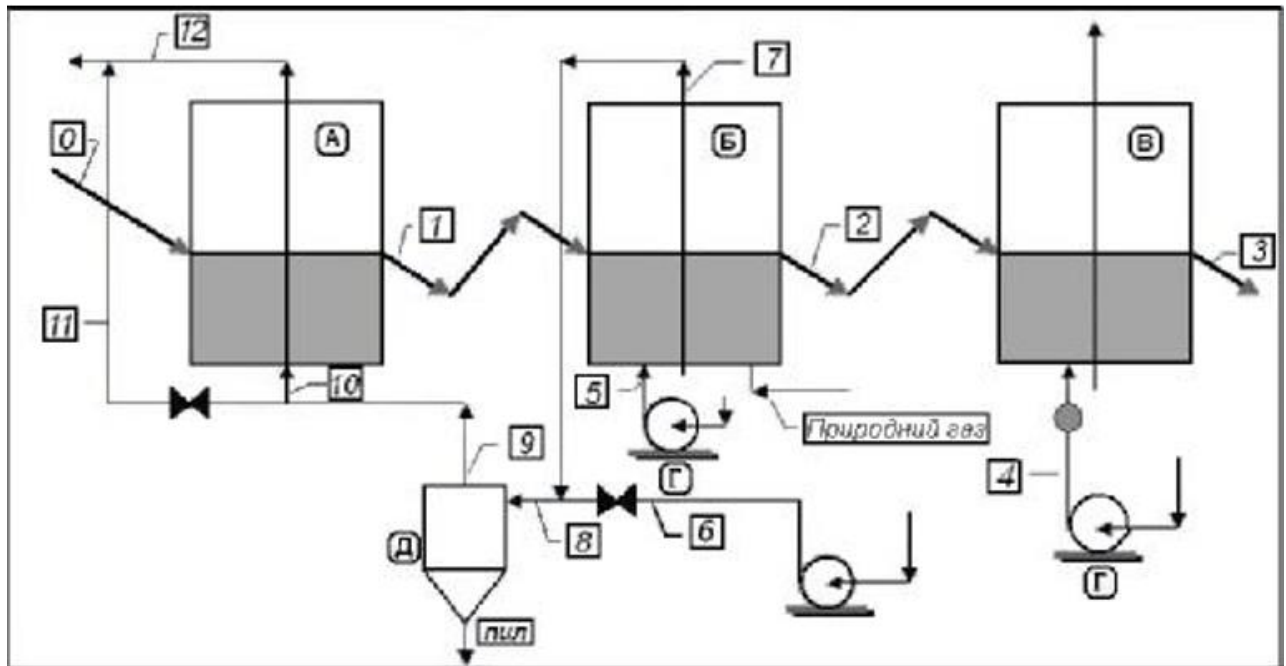


Рисунок 1.1 – Схема процесу виробництва керамзитового піску:

А – піч термopідготовки глиняної крихти; Б – піч спалення; В – холодильник киплячого шару; Г - газодувки; Д – футерований циклон

В піч термopідготовки А подають вологу глиняну крихту, вологість якої складає 22% (0 потік). Температура в печі становить 80°C.

Підготовлена сировина надходить в піч спалення Б (1 потік), яка умовно поділяється на 4 зони: зона сушки або випаровування вологи; зона підігріву, яка співпадає з зонами дегідратації, декарбонізації і окислювально-відновлювальних реакцій; зона спучування і зона затвердіння. Спочатку в зоні сушки, під дією тепла від димових газів, що мають температуру в цій зоні 200-750°C, випаровується вільна і частково фізично зв'язана вода, що міститься в сировині. Завдяки тому, що матеріал попереднього пройшов термopідготовку, умовна довжина зони сушки в печі спалювання складає приблизно 25-40% від загальної довжини печі. Далі матеріал

надходить в наступну зону – зону підігріву. В цій зоні відбувається складний комплекс найважливіших в технології керамзиту окислювально-відновлювальних реакцій (при 350-650°C), дегідратація (при 200-800°C) і декарбонізація (при 400-900°C) матеріалу. Довжина зони нагріву досягає 20-30% загальної довжини печі. Потім матеріал поступає в зону спучування, де під впливом високих температур розм'якшується та спучується за рахунок тиску зсередини газоподібних продуктів, окислювально-відновлювальних реакцій, незавершених в період нагріву, а також реакцій розкладання і взаємодії окремих компонентів породи. Довжина зони спучування складає 15-20% загальної довжини печі. Після спучування керамзит проходить зону затвердіння, що становить 5-10% довжини печі. [1]

. Димові гази (650°C), які виділяються в результаті фізико-хімічних процесів, що відбуваються в обертовій печі, надходять в футерований циклон (потік 7). Частина очищених від пилу газів використовується для підігріву печі термopідготовки глиняної крихти А (потоки 9, 10), а інша частина виходить в атмосферу (потік 11).

Гарячий керамзитовий пісок (потік 2) потрапляє в холодильник киплячого шару В, де охолоджується до 90 °С.

### ***1.4 Опис хімічних реакцій***

Головна реакція, яка проходить в процесі виробництва керамзитового піску – виділення газоподібної фази при спучуванні розм'якшеної глиняної породи, яка має такий склад:  $H_2O$  (механічна), глиняні мінерали, слюда, польовий шлам,  $SiO_2H_2O$ ,  $Fe_2O_3H_2O$ ,  $FeS$ ,  $FeCO_3$ ,  $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$ ,  $(CaMg)SO_4 \cdot nH_2O$ , луги і органічні речовини.

Вибіркові результати аналізу газо-пароподібної фази пор керамзиту показують, що газова фаза пор керамзиту складається з  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ .

### ***1.5 Опис інших технологій виробництва керамзитового піску***

Існує 3 технології виробництва керамзитового піску: сухий, пластичний та мокрий способи. В даному дипломному проекті досліджується пластичний спосіб виробництва керамзиту. Цей спосіб підготовки сировини і приготування напівфабрикату застосовують при використанні вологих пластичних і рихлих глиняних порід як однорідного, так і неоднорідного складу. Технологію виробництва керамзиту пластичним способом описано вище.

Сухий спосіб підготовки сировини і виробництва напівфабрикату застосовують при використанні однорідної за складом, каменеподібної глиняної сировини типу сланців і аргілітів, яка має вологість до 10%. Технологічна схема виробництва керамзиту за сухим способом включає наступні виробничі етапи: видобування глиняної породи в кар'єрі, подрібнення каменеподібної глиняної сировини на крихту, сортування крихти, випал крихти зі спучуванням, охолодження керамзиту та корегування його зернового складу.

Мокрий спосіб виробництва керамзитового піску доцільно застосовувати при використанні добре розмокаючих глин з високою схильністю до спучування. Технологічна схема виробництва керамзиту за мокрим способом включає наступні виробничі операції: видобування глиняної сировини, приготування глиняного шламу, необхідної густоти, випал шламу зі спучуванням на керамзит, охолодження керамзиту, сортування і корегування зернового складу заповнювача. При мокрому способі виробництва, глиняні матеріали можна випалювати не тільки при будь-якій формувальній вологості, а й у вигляді шламу, де вміст води досягає 40-60%.

## 2 Розрахунок матеріальних балансів процесу виробництва керамзитового піску

### 2.1 Виконання структурного аналізу ХТС

Спершу складемо таблицю відповідності потоків та апаратів для того, щоб на основі технологічної схеми (рис. 1.1) сформувати структурну схему потоків та апаратів. З технологічної схеми можна виділити структурну схему (рис.2.1), яка складається з чотирьох апаратів, які впливають саме на основну частину виробництва керамзитового піску, а саме:

1 – піч термопідготовки; 2 – піч спалення; 3 – холодильник; 4 – циклон;

Таблиця 2.1 Формалізація задачі ХТС

	Назва	Вхідні потоки	Вихідні потоки
1	Піч термопідготовки	4-1	1-2
2	Піч спалення	1-2	2-3, 2-4
3	Холодильник	2-3	-
4	Циклон	2-4	4-1

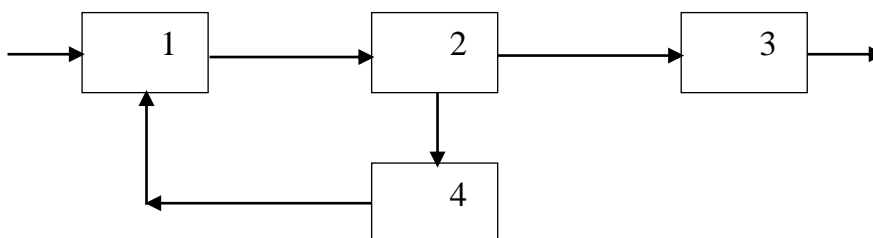


Рис 2.1 Структурна схема процесу виробництва керамзитового піску

### 2.2 Розрахунок матеріального балансу у середовищі Mathcad

У даному розділі виконується комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу виробництва керамзитового піску, визначення загальних та покомпонентних витрат, складів потоків.

Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів було виконано в середовищі Mathcad 15. Результати розрахунку матеріального балансу схеми наведено в таблицях 2.2-2.6.

Таблиця 2.2 – Матеріальний баланс печі термопідготовки

Компонент	Вхід		Вихід	
	кг/год	%	кг/год	%
SiO <sub>3</sub>	1417,76	21,38	1417,19	24,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	577,61	8,71	577,37	10,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	210,04	3,17	209,95	3,65
MgO	52,51	0,8	52,49	0,91
CaO	52,51	0,8	52,49	0,91
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	105,02	1,58	104,98	1,82
H <sub>2</sub> O	740,52	22	1162,44	20,23
Сухі димові гази	2589,73	39,05	1957,8	34,07
Нев'язка	0	0	1,06	0,4
<b>Сума</b>	<b>5 745,7</b>	<b>100</b>	<b>5 745,7</b>	<b>100</b>

Таблиця 2.3 – Матеріальний баланс печі спалювання

Компонент	Вхід		Вихід	
	кг/год	%	кг/год	%
SiO <sub>3</sub>	1417,19	44,28	1374,68	41,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	577,37	18,04	565,24	17,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	209,95	6,56	197,36	5,95
MgO	52,49	1,64	50,84	1,54
CaO	52,49	1,64	50,84	1,54
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	104,98	3,28	103,68	3,13
Сухі димові гази	0	0	980	29,57
CH <sub>4</sub>	163,98	5,12	0	0
O <sub>2</sub>	511,74	16	0	0
Інші гази	110,04	3,44	97,63	



Нев'язка	0	0	12,41	0,37
<b>Сума</b>	<b>3312,23</b>	<b>100</b>	<b>3312,2</b> <b>3</b>	<b>100</b>

Таблиця 2.4 – Матеріальний баланс холодильника

Компонент	Вхід		Вихід	
	кг/год	%	кг/год	%
SiO <sub>3</sub>	1374,68	44,28	1374,6 8	41,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	565, 24	18,04	565, 24	17,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	197,36	6,56	197,36	5,95
MgO	50,84	1,64	50,84	1,54
CaO	50,84	1,64	50,84	1,54
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	103,68	3,28	103,68	3,13
O <sub>2</sub>	511,74	16	509,2	15,37
Інші гази	110,04	3,44	97,63	2,95
Нев'язка	0	0	12,41	0,7
<b>Сума</b>	<b>3312,23</b>	<b>100</b>	<b>3312,2</b> <b>3</b>	<b>100</b>

Таблиця 2.5 – Матеріальний баланс циклону

Компонент	Вхід		Вихід	
	кг/год	%	кг/год	%
O <sub>2</sub>	511,74	16,72	509,2	16,72
Сухі димові гази	2489,73	81,37	2489,7 3	81,37
Пил	58,3	1,9	58,3	1,9
<b>Сума</b>	<b>3059,77</b>	<b>100</b>	<b>3059,7</b> <b>7</b>	<b>100</b>

Таблиця 2.6 – Загальний матеріальний баланс

Компонент	Вхід	Вихід
-----------	------	-------

	кг/год	%	кг/год	%
SiO <sub>3</sub>	1417,76	21,38	1364	20,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	577,61	8,71	583,4	8,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	210,04	3,17	203,75	3,07

Продовження таблиці 2.6

MgO	52,51	0,8	50,82	0,77
CaO	52,51	0,8	50,82	0,77
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	105,02	1,58	101,88	1,54
H <sub>2</sub> O	740,52	11,17	1162,4 4	17,52
Пил	0	0	58,3	0,88
O <sub>2</sub>	511,74	7,72	0	0
CH <sub>4</sub>	163,98	2,45	0	0
Сухі димові гази	2589,73	39,05	2980	44,94
Інші гази	210,04	3,17	73,05	1,1
Нев'язка	0	0	3	0,04
<b>Сума</b>	<b>6631,46</b>	<b>100</b>	<b>6631,4 6</b>	<b>100</b>

На основі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що матеріальний баланс процесу виробництва керамзитового піску у середовищі Mathcad 15 розрахований вірно. Результати розрахунків приведені у додатку А.



### **3 Комп'ютерне моделювання циклону**

Автоматизований розрахунок апарату потрібний як для побудови сучасної комп'ютерно-інтегрованої схеми керування технологічним процесом, так і для проектування апарату [2]

#### **3.1 Технічне завдання на розробку програмного забезпечення**

Задача: розробити програмний модуль для повірного розрахунку циклону типу ЦН-15 для очистки димових газів від пилу.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Витрата сухих димових газів.
2. Оптимальна швидкість газу в циклоні.
3. Типовий діаметр часток при ефективності 50%.
4. Щільність часток для типового циклону.
5. Коефіцієнт гідравлічного опору циклону.
6. В'язкість газу для типового циклону.
7. Коефіцієнт з врахування компонування циклону.
8. Коефіцієнт з врахуванням діаметру циклону.
9. Коефіцієнт з врахуванням запиленості газу.
10. Коефіцієнт пропорційності для розрахунку висоти.
11. Коефіцієнт пропорційності для висоти циклону.
12. Коефіцієнт пропорційності для діаметру труби.
13. Діаметр типового циклону.
14. Дисперсний склад пилу для циклону.
15. Дисперсний склад пилу для речовини.
16. Діаметр часток пилу.
17. В'язкість газу.
18. Щільність часток.
19. Густина газу.
20. Кут повороту лопастей винта циклона.

Результати розрахунку:

1. Внутрішній діаметр циклону.
2. Ступінь ефективності очищення газу.
3. Гідравлічний опір циклону.
4. Висота циліндричної частини.
5. Загальна висота циклону.
6. Діаметр вихлопної труби.

Вимоги до програмного модуля:

1. Наявність полів для введення даних.
2. Виведення отриманих результатів розрахунку на форму.
3. Графічне та текстове виведення інформації.
4. Розроблений у середовищі MS Visual Studio.

Потенційними користувачами розроблюваного програмного забезпечення є інженери-технологи, а також проектувальники апаратів даного типу.

### 3.2 Математичне забезпечення програмного модуля

Параметричний розрахунок циклону виконано за методикою НІДОГАЗ в середовищі Mathcad15.

Алгоритм розрахунку такий:

1. Визначається діаметр циклонів при кількості апаратів, що задається послідовно:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot N \cdot \omega_{\text{опт}}}},$$

де  $Q$  – кількість газу, що очищується;

$\omega_{\text{опт}}$  – оптимальна швидкість газу в циклоні;

$N$  – кількість циклонів.

Отримане значення діаметра округляємо до найближчого типового значення.

2. По вибраному діаметру обчислюється дійсна швидкість газу у циклоні:

$$\omega = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot N \cdot D^2}$$

3. Обчислюється відносне відхилення дійсної швидкості від оптимальної швидкості газу, яка залежить від марки циклону:

$$V = \left| \frac{\omega - \omega_{\text{опт}}}{\omega_{\text{опт}}} \right| \cdot 100\%$$

При  $V > 15\%$  умова допустимості не дотримується, тому необхідно робити перерахунок діаметру циклону. При  $V < 15\%$  отриманий діаметр можна приймати до установки.

4. Діаметр часток, що вловлюються при робочих умовах з ефективністю 50%, знайдемо по формулі:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D}{D^T} \cdot \frac{\rho}{\rho^T} \cdot \frac{\mu}{\mu^T} \cdot \frac{\omega}{\omega_{\text{опт}}}},$$

де  $d_{50}$  – діаметр часток, що вловлюються з ефективністю 50%;

$d_{50}^T$  – діаметр часток, що вловлюються з ефективністю 50% (для типового циклона);

$D$  – діаметр циклону;

$D^T$  – діаметр типового циклону;

$\rho$  – щільність часток;

$\rho^T$  – щільність часток для типового циклону;

$\mu$  – в'язкість газу;

$\mu^T$  – в'язкість газу для типового циклону;

$\omega$  – дійсна швидкість газу;

$\omega_{\text{опт}}$  – оптимальна швидкість газу для типового циклону.

5. Розраховуємо параметр  $X$  для наступного обчислення ступеня ефективності  $Nu$  очищення газу:

$$X = \frac{\lg \frac{d}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma + \lg^2 \sigma_m}}$$

6. Ступінь ефективності очищення газу:

$$Nu = 0.5 \cdot (1 + \Phi(X)),$$

де  $\Phi(X)$  – табличне значення функції Лапласа при певному значенні аргументу  $X$ , також може бути знайдене за співвідношенням:

$$\Phi(X) = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot \pi_0}} \int_0^X e^{-\frac{x^2}{2}} dX$$

7. Для розрахунку втрат тиску у циклоні знайдемо значення коефіцієнта його гідравлічного опору:

$$\zeta = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{500} + K_3,$$

де  $K_1$  – поправочний коефіцієнт на діаметр циклону;

$K_2$  – поправочний коефіцієнт на запиленість газу;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонуванням циклонів у групу. Для одиночного циклона це значення рівне 0;

$\zeta_{500}$  – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона діаметром 500 мм.

Всі ці дані беруться з відповідних таблиць.

8. Гідравлічний опір циклону:

$$\Delta P = \frac{\zeta \cdot \rho_r \cdot \omega^2}{2},$$

де  $\rho_r$  – густина газу при робочих умовах.

9. Конструктивні розміри циклону визначають відповідно до діаметра обраного циклону:

$$x = k \cdot D,$$

де  $x$  – параметр циклону, що розраховується;

$k$  – коефіцієнт пропорційності (знаходиться в таблиці). [4]

Для перевірки правильності розрахованих параметрів циклону виконується повірочний розрахунок.

Повірочний розрахунок циклону виконано на основі моделі руху частинки пилу в циліндричній частині апарату. При побудові даної математичної моделі було прийнято наступні допущення:

1. Осьова компонента середньої швидкості руху газу постійна в часі і незмінна в усіх точках потоку.
2. Тангенціальна компонента середньої швидкості руху не залежить від повздовжньої координати.
3. Потік газу розглядається в рамках моделі в'язкої нестискуваної рідини.

4. Потік газу розглядається як усталений.
5. Середня швидкість руху газу постійна в часі і по перетину, ефект прослизання частинок відносно газу відсутній.
6. Затуханням і переформуванням тангенціальної швидкості вздовж потоку нехтуємо.
7. Осьова швидкість часток рівна осьовій швидкості газу в точці. В якій вони знаходяться.
8. Сила тяжіння мала в зрівнянні з силами, визначаючими усереднений і турбулентний пульсаційний рух потоку.
9. Частинки мають форму кулі з діаметром  $d$ .
10. Концентрація пилових частинок рівномірна в часі і по перетину.

Вважаємо, що потік газу, потрапляючи в тіло циклону, закручується на один і той самий кут, що рівний куту повороту лопаток, і здобує 2 складові середньої швидкості:  $v_0$  – осьову складову і  $v_T$  – тангенціальну складову.

Розглянемо поведінку одиничної частинки під дією всіх сил. Осьова складова швидкості частинки і швидкості газу в циклоні дорівнює середньовитратній швидкості газу до входу в циклон:

$$v_0 = \frac{Q}{\omega},$$

де  $Q$  – об'ємна витрата газу;

$\omega$  – площа поперечного перерізу циклону.

Вважаємо, що тангенціальна швидкість дорівнює:

$$v_T = v_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут повороту лопастей винта циклону.

В радіальному напрямку частинка рухається з постійною швидкістю (відповідно до закону Стокса), в рамках прийнятих допущень:

$$v_R = \frac{v_T^2}{18 \cdot R_{\text{ч}}} \cdot \rho \cdot \frac{d^2}{\mu},$$

де  $\rho$  – густина частинки;

$v_0$  – тангенціальна складова швидкості частинки;

$R_{\text{ч}}$  – відстань від осі циклону до частинки;

$d$  – розмір частинки;



$\mu$  – в'язкість газу.

Умовно розділимо весь поперечний переріз циклону на елементарні концентричні кільця, товщиною  $dr$ .

Вважаємо, що всі частинки одного діаметру, що знаходяться всередині одного елементарного кільця, мають однакову радіальну швидкість, що залежить лише від положення кільця:

$$v_R = \frac{v_T^2}{18 \cdot r} \cdot \rho \cdot \frac{d^2}{\mu},$$

де  $r$  – відстань від центра циклону до даного кільця  $dr$ .

Час, що витрачається частинками на подолання відстані  $R-r$  до стінки циклону, можна розрахувати, як відношення шляху до швидкості частинок:

$$T = \frac{S}{v_R} = \frac{18 \cdot r \cdot (R - r) \cdot \mu}{d^2 \cdot v_T^2 \cdot \rho}$$

Отже, за час  $T$  частинки в циклоні пройдуть в повздовжньому напрямі відстань, що дорівнює:

$$S = v_0 \cdot T = v_0 \cdot \frac{18 \cdot r \cdot (R - r) \cdot \mu}{d^2 \cdot v_T^2 \cdot \rho}$$

Продиференціюємо цю формулу по  $dr$  і отримаємо математичну модель руху частинки в циклоні:

$$\frac{dS}{dr} = v_0 \cdot \frac{18 \cdot r \cdot (R - r) \cdot \mu}{d^2 \cdot v_T^2 \cdot \rho}$$

Виходячи з моделі руху, очевидно, що частинки, які знаходяться на відстані половини радіусу, пройдуть найбільшу відстань в осьовому напрямку. [3]

### 3.3 Програмний модуль для розрахунку параметрів циклону та повірного розрахунку

Програмний модуль призначений для розрахунку конструктивних параметрів циклона типу ЦН-15, а саме діаметру циклону, діаметру вихлопної труби, висоти циліндричної частини циклону, загальної висоти циклону, а також ступеню ефективності очищення газу, та повірного розрахунку на основі моделі руху частинки в циклоні.

Структура обчислювального модуля наступна:

- Файли форм – MyForm1;
- Файл проекту – WindowsFormsApplication6;

Основні елементи модуля зведено у таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – основні елементи програмного модуля

Елемент	Назва	Призначення
Форма (Form)	MyForm1.h	Основна форма модуля, містить елементи вводу даних, та елементи відображення результатів
Форма (Form)	MyForm2	Збереження результатів розрахунків
Форма (Form)	MyForm3	Довідка, що містить опис програми
Кнопка (Button)	Button1	Кнопка, по натисканню якої відбувається розрахунок моделі, та будуються графіки
Кнопка (Button)	Button2	Кнопка, по натисканню якої відбувається повернення на головну форму
Кнопка (Button)	Button3	Кнопка, по натисканню якої відбувається заповнення всіх полів оптимальними значеннями
Кнопка (Button)	Button4	Кнопка, по натисканню якої результати розрахунків записуються у файл та зберігаються на комп'ютер користувача
Таблиця (DataGridView)	DataGridView1	Елемент для відображення результатів розрахунку
Графік (Chart)	Chart1	Елемент для відображення графіку з результатами розрахунку аксіальної частини реактора
Напис (Label)	Label1 – Label25	Елементи відображення назв для полів введення даних

Текст (TextBox)	TextBox1 – TextBox25	Поля для введення даних
-----------------	-------------------------	-------------------------

Користувач з легкістю зможе працювати з програмою, навіть якщо він робитиме це вперше, оскільки її інтерфейс є надзвичайно простим. Головна форма (рис 3.1) має вигляд вікна, в якому є 25 полів для введення даних та назви цих полів з відповідними розмірностями.

Назва параметра	Одиниця	Значення
Оптимальна швидкість газу в циклоні	м/с	3.5
Типовий діаметр часток при ефективності 50%	м	4.5
Щільність часток для типового циклону	кг/м <sup>3</sup>	1930
Коефіцієнт гідравлічного опору циклона		155
В'язкість газу для типового циклону	мкН°С/м <sup>2</sup>	22.2
Коефіцієнт з врахування компонентування циклону		0
Коефіцієнт з врахуванням діаметру циклона		1
Коефіцієнт з врахуванням запиленості газу		1
Коефіцієнт пропорційності для розрахунку висоти		2.26
Коефіцієнт пропорційності для висоти циклону		4.56
Коефіцієнт пропорційності для діаметру труби		0.59
Діаметр типового циклону	м	0.6
Витрата сухих димових газів	м <sup>3</sup> /с	1.83
Дисперсний склад пилу для циклону		0.352
Дисперсний склад пилу для речовини		0.615
Діаметр часток пилу	мкм	19
В'язкість газу	мкН°С/м <sup>2</sup>	35
Щільність часток	кг/м <sup>3</sup>	1380
Густина газу	кг/м <sup>3</sup>	0.383
Кут повороту лопастей винта циклона		45

Рисунок 3.1 – Вигляд головної форми

Дані можна вводити вручну, а можна відкрити пункт меню файл, де вибрати «ввести стандартні значення» і тоді поля автоматично заповнюються даними, за якими можна виконати розрахунок за параметрами, що описують циклон, який використовується в технологічній схемі цього проекту. Технологічну схему проекту можна переглянути відкривши відповідну вкладку «Технологічна схема». Форма матиме вигляд як на рис.3.2

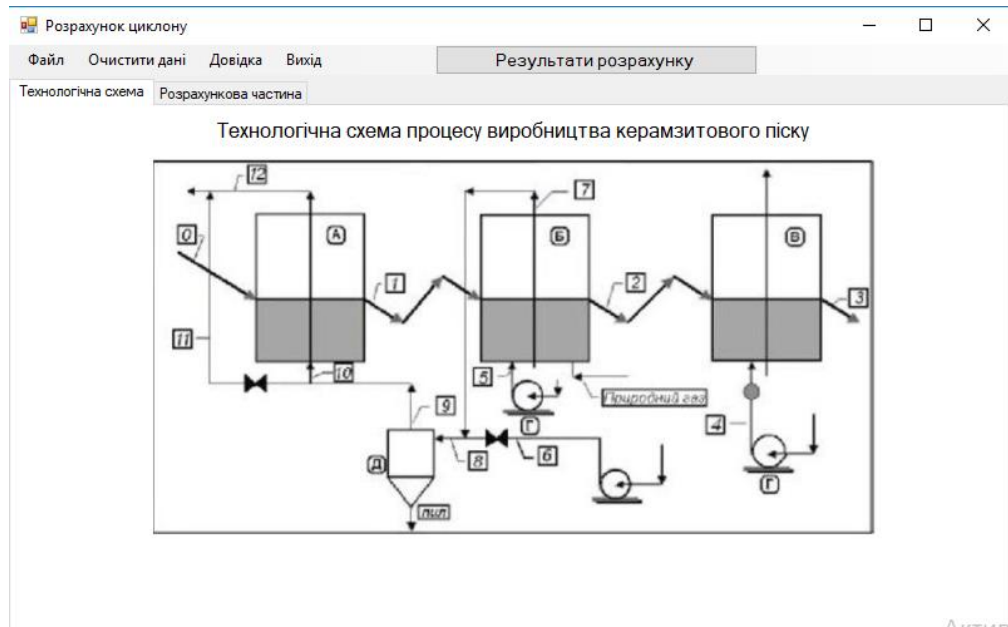


Рисунок 3.2 – Зображення технологічної схеми процесу на формі

Щоб програма виконала розрахунок за введеними даними, достатньо просто натиснути кнопку «Запуск розрахунку». На рис 3.1 наведено типовий вигляд програми після виконання розрахунку.

1.1.	Внутрішній діаметр циклона, м: 0,82
1.2.	Переводимо в мм і округлюємо до 800 мм, м: 0,8
1.3.	Дійсна швидкість газу в циклоні, м/с: 3,64
1.4.	Відносне відхилення дійсної швидкості від оптимальної, м/с: 4
1.5.	Діаметр часток, що вловлюються при робочих умовах з ефективністю 50%, м: 5,48E-06
1.6.	Розрахуємо параметр X для наступного обчислення ступеня ефективності очищення газу: 1,75460804
1.7.	Функція Лапласа: 0,4306
1.8.	Ступінь ефективності очищення газу, %: 0,72
1.9.	Значення коефіцієнта гідравлічного опору циклона: 155
1.10.	Гідравлічний опір циклону: 393,281
1.11.	Висота циліндричної частини, м: 1,853
1.12.	Висота циклона, м: 3,739
1.13.	Діаметр вихлопної труби, м: 0,48
1.14.	Радіус циклона, м: 0,41
1.15.	Осьова складова швидкості частинки, м/с: 3,46699909441226
1.16.	Тангенціальна складова швидкості, м/с: 5,61575911876701

Рисунок 3.3 – Програмний модуль після виконання розрахунків

У вікні виведення розрахунків користувач може зберегти отримані результати в файл, натиснувши кнопку «Зберегти результати розрахунків». Може статися, що отримані результати не влаштовують користувача, то користувач може повернутися на головну форму, натиснувши кнопку «Повернутися до головної форми» та перевірити правильність введених даних, змінити їх і виконати повторний розрахунок.

Поля з введеними даними можна очистити вибравши відповідний пункт меню «Очистити дані».

Також присутня довідка, що містить інформацію про програму та її розробника. Довідка має вигляд як на рис 3.4.

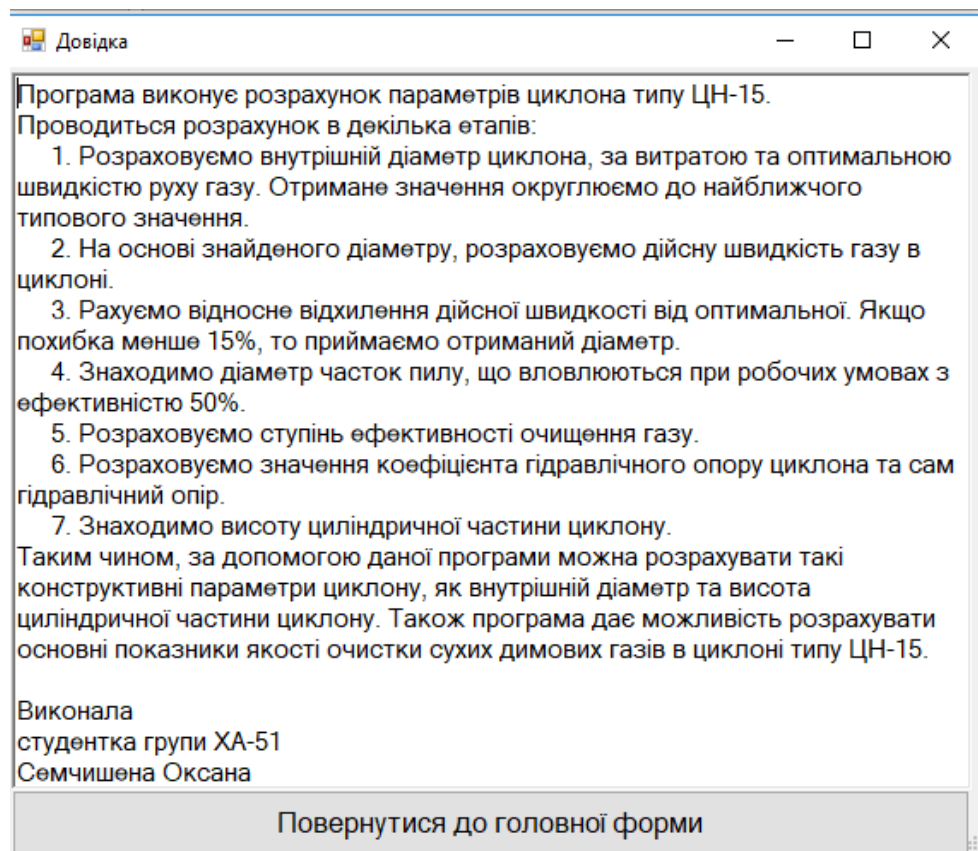


Рисунок 3.4 – Вигляд вікна з довідкою

З довідки можна також повернутись на головну форму, натиснувши відповідну кнопку «Повернутися до головної форми».

Коли користувач завершить роботу з програмою він може закрити її, вибравши пункт меню «Вихід», або ж натиснувши на кнопку виходу в верхньому правому куті вікна.

Даний програмний модуль забезпечує розрахунок основних параметрів циклону та повірочний розрахунок на основі моделі руху частинки в циклоні. Код програмного модулю наведено у додатку Б.

## **4 Автоматизація технологічної схеми процесу виробництва керамзитового піску**

Автоматизація виробництва – вищий рівень розвитку машинної техніки, коли регулювання й управління виробничими процесами здійснюються без участі людини, а лише під її контролем. Сучасний стан розвитку автоматизації виробництва привів до появи якісно нової системи технологічних машин з керуючими засобами, що базуються на застосуванні електронних обчислювальних машин, програмованих логічних контролерів, інтелектуальних засобів вимірювання і контролю, інформаційно об'єднаних промисловими мережами. Автоматизація виробництва – один з головних напрямів науково-технічного прогресу.

Схеми автоматизації технологічних процесів є основними технічними документами, які визначають структуру і масштаб автоматизації промислових об'єктів, початковими даними для проектування систем управління.

Схеми автоматизації включають технологічну схему, що містить основні технологічні апарати і машини, зображену в спрощеному варіанті і розташовану у верхній частині листа, і засоби автоматизації, що входять до складу систем контролю, регулювання, які наносять на схему за допомогою умовних графічних позначень і ліній зв'язку.

### ***4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми***

Завдання технологічного процесу виробництва полягає в отриманні цільового продукту – керамзитового піску, шляхом обпалу зі спучуванням глини та підтриманні заданої продуктивності виробництва. Для отримання необхідної кількості та якості цільового продукту, важливим є контроль та регулювання витрати вхідних, вихідних та проміжних речовин, а також підтримання температури в печі термopідготовки, печі спалювання, холодильнику та на виході з них.

В зв'язку з безперервним процесом, порушення будь-якого з етапів якого може нести за собою безповоротні втрати в якості речовини, є просто необхідним контроль та регулювання параметрів не лише глини, а й допоміжних речовин, таких як природний газ, що використовується як паливо для печі, в якій відбувається процес спалювання глиняної крихти, а також повітря від вентиляторів, яке необхідне для

обдуву печі, холодильника та циклона. Також важливим є контроль та регулювання витрати і температури димових газів, що виходять з печі під час спусування глини, оскільки вони використовуються для підігріву печі термopідготовки глиняної крихти. Аналіз технологічної схеми показав, що для забезпечення необхідного виходу керамзитового піску та протікання процесу за технічним регламентом необхідно регулювати наступні параметри: витрату глиняної крихти на вході в піч термopідготовки сировини, витрату керамзитового піску на виході з холодильника та витрату повітря, що подається вентилятором в піч обпалу; температуру керамзитового піску, на виході з холодильника, температуру на виході з печі термopідготовки глиняної крихти.

Контролюються температура в печі спалювання глини та температури повітря, що забирається вентиляторами. Також враховуються проміжні витрати речовин в трубопроводах.

Важливим є контроль появи пилу в димових газах, що виходять з циклону, оскільки ці гази будуть використані для підігріву печі термopідготовки глиняної крихти.

На підставі аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва. В результаті чого обрано параметри об'єкту автоматизації, що підлягають контролю та регулюванню.

Відповідно до обраних параметрів регулювання, контролю, сигналізації були вибрані місця для заміру параметру на технологічному об'єкті та номінальні значення параметрів, межі їх зміни. Всі дані занесемо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри регулювання та контролю процесу виробництва керамзитового піску

№	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 глиняної крихти в піч термопідготовки	Витрата	$2,44 \pm 0,1$ м <sup>3</sup> /Год	Регулювання
2	Трубопровід подачі глиняної крихти в піч термопідготовки	Температура	$15 \pm 0,5$ °C	Контроль
3	Трубопровід подачі димових газів в піч термопідготовки	Якість	$1 \pm 0,1$ мг/м <sup>3</sup>	Контроль та сигналізація
4	Піч термопідготовки	Температура	$80 \pm 2$ °C	Регулювання
5	Трубопровід подачі глиняної крихти в піч спалювання	Витрата	$1,9 \pm 0,1$ м <sup>3</sup> /Год	Контроль
6	Піч спалювання	Температура	$1000 \pm 5$ °C	Контроль
7	Холодильник	Температура	$90 \pm 3$ °C	Контроль
8	Трубопровід на виході з холодильника	Температура	$90 \pm 1$ °C	Регулювання

Продовження таблиці 4.1

9	Трубопровід на виході з холодильника	Витрата	$5,85 \pm 0,1$ м <sup>3</sup> /Год	Регулювання
10	На вході у вентилятор	Температура	$25 \pm 0,5$ °C	Контроль
11	На вході у вентилятор	Температура	$25 \pm 0,5$ °C	Контроль



1 2	На вході у вентилятор	Температура	$25 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Контроль
1 3	Трубопровід на вході в піч спалювання	Витрата	$417,5 \pm 1 \text{ м}^3/\text{год}$	Співвідношен ня та регулювання
1 4	Трубопровід на вході в піч спалювання	Витрата	$234,26 \pm 1 \text{ м}^3/\text{год}$	Регулювання
1 5	Трубопровід на вході в піч спалювання	Тиск	$1,5 \pm 0,015 \text{ МПа}$	Контроль

На основі даних, наведених в таблиці 4.1, розроблена схема автоматизації процесу виробництва керамзитового піску включає в себе 5 регулюючих контурів та 9 контурів контролю та реєстрації (в тому числі один контур контролю та сигналізації), а також 3 контури для дистанційного керування електромоторами.

При виборі приладів та засобів автоматизації слід дотримуватись 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.

Тому для автоматизації процесу виробництва керамзитового піску були вибрані технічні засоби автоматизації за каталогами відповідних виробників [7]. Специфікація до обраних засобів наведена в додатку В.

## ***4.2 Опис системи автоматизації***

### **4.2.1 Контроль та регулювання температури**

Підтримання температури глиняної крихти на виході з печі термопідготовки та температури охолодженого керамзитового піску є одним з найважливіших факторів впливу на якість цільового продукту. В якості вимірювальних приладів температури

з необхідною точністю було обрано термопару марки ТХА-2388 (поз. 6-1, 7-1, 8-1, 9-1, 10-1, 11-1, 12-1, 13-1) з діапазоном вимірювання температури від -50°C – 1300°C, що призначені для вимірювання температури неагресивного робочого середовища з малою похибкою. Отриманий сигнал з термоперетворювача передається на показуючий ПД - регулятор марки ТРМ10 (поз. 7-2, 8-2, 9-2, 10-2, 11-2, 12-2, 13-2), який відображає вимірювану температуру і в контурі регулювання видає регулюючий вплив на виконавчий механізм (поз. 6-1, 13-1).

#### **4.2.2 Контроль та регулювання витрат**

Регулювання витрати вхідних та вихідних потоків, а також контроль витрати проміжних є другим визначальним параметром для підтримання продуктивності цільового процесу. Для контролю та регулювання витрати природного газу та повітря використовується електричний ротаметр марки КФФ-1 (поз. 1-4, 1-5) з температурою вимірюваного середовища від -30 до 120 °C, прилад містить вбудований первинний перетворювач у вих. сигнал 4 – 20 мА.

Для контролю та регулювання витрати глиняної крихти та охолодженого керамзитового піску використовується витратомір марки МаххFlow НТС (поз. 1-1, 1-2, 1-3) з температурою вимірюваного середовища від -20 до 80 °C, прилад містить вбудований первинний перетворювач у вих. сигнал 4 – 20 мА.

Отриманий сигнал з витратоміру передається на показуючий ПД – регулятор марки ТРМ10 (поз. 1-2, 2-2, 3-2, 4-2, 5-2), який здійснює контроль витрати.

#### **4.2.3 Контроль тиску**

Для вимірювання тиску в контурі 14 використано перетворювач тиску марки 628-07 (поз. 14-1) який може використовуватися у вибухонебезпечних і агресивних середовищах для вимірювання тиску від 0 до 20 МПа в рідких і газоподібних середовищах, вихідний сигнал манометру 0 – 20 мА, ступінь захисту - IP40.

Отриманий сигнал передається на показуючий ПД – регулятор марки ТРМ10 (поз. 15-2), який здійснює контроль тиску.

#### **4.2.4 Контроль якості**

Для контролю появи пилу в трубопроводі на виході димових газів з циклону в контурі 15 використовується датчик пилу ProSens (поз. 15-1) з температурою

вимірюваного середовища до 700°C, розміром вловлюваних частинок від 3 мкм, діапазоном виміру концентрацій пилу 0,1 мг/м<sup>3</sup>..1000 г/м<sup>3</sup> та ступенем захисту IP65. Для сигналізації верхньої межі концентрації встановлено показуючий сигналізуючий прилад КД140-001-ОМ4 (поз. 15-2) та використовується індикаторна лампа марки УПС 1 (поз. HL1).

#### **4.2.5 Контур перемикання**

Контур дистанційного регулювання двигуна використовує пост керування кнопковий марки ПКУ 15-21- 131-УЗ, кнопки запобігання вимикання марки КМЕ – 5111 УЗ та магнітні пускачі марки ПМ12- 160210У2В.

Для сигналізації верхньої та нижньої межі рівня використовуються індикаторні лампи марки УПС 1 (поз. HL2, HL3, HL4, HL5, HL6, HL7).

Розроблена схема дозволить проводити технологічний процес виробництва керамзитового піску згідно технологічного регламенту.

## 5. Економіко-організаційні розрахунки

Оскільки метою проекту є зокрема автоматизація процесу виробництва керамзитового піску, то задля визначення економічного ефекту від автоматизації потрібно спочатку провести розрахунок техніко-економічних показників виробництва без встановленої системи автоматичного управління.

### 5.1 Класифікація

- за організаційно-правовою формою – товариство з обмеженою відповідальністю
  - за формою власності – приватне підприємство
  - за формою реєстрації – юридична особа:
    - власний матеріальний баланс
    - власні основні та оборотні засоби
    - самостійність курівника у прийнятті управлінських рішень
    - наявність печатки
    - власний поточний рахунок в банку
  - за видом економічної діяльності (КВЕД):
    - код КВЕД 23.32 Виробництво цегли, черепиці та інших будівельних виробів із випаленої глини;
- за структурою виробництва – вузько спеціалізоване підприємство
- за потужністю виробничого потенціалу – велике підприємство
- за масштабами виробництва – серійне виробництво
- за ресурсами що споживаються – матеріаломістке.

Головною метою діяльності підприємства є отримання прибутку внаслідок реалізації споживачам виробленої продукції.

Головними завданням підприємства є задоволення потреб споживачів (фізичних і юридичних осіб), продукція високої якості і як наслідок отримання прибутку.

## 5.2 Організаційна структура підрозділу підприємства

Організаційна структура підрозділу повинна повністю забезпечити потреби цеху в обслуговуванні. Таким чином на підприємстві повинні працювати:

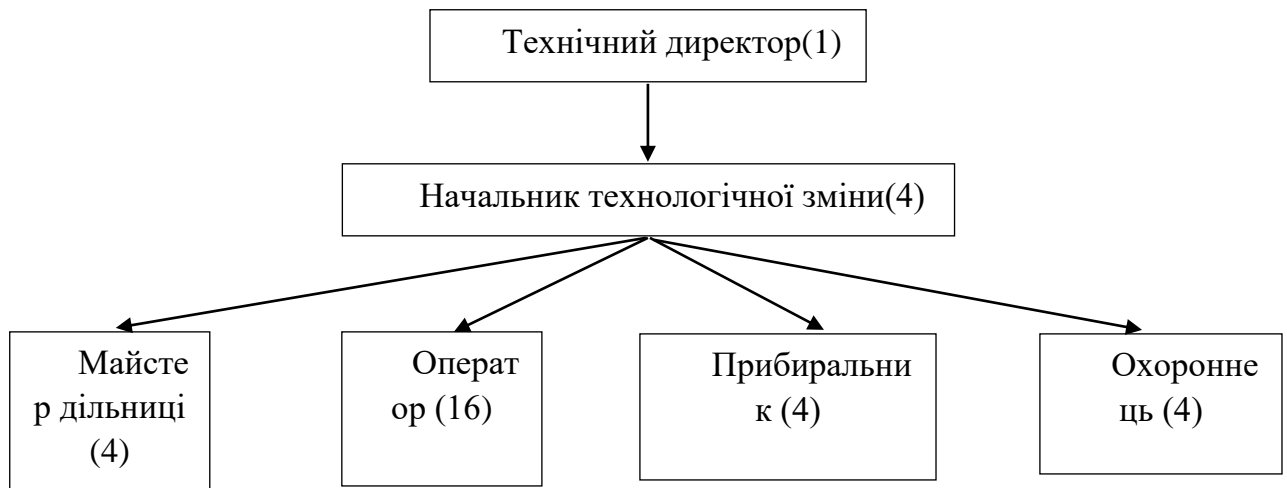


Рис. 5.1. – Організаційна структура підприємства.

### 5.3. Технологічна підготовка підприємства

Залежно від відношення до кінцевої продукції виробничі процеси поділяються на: основні, допоміжні, підсобні, бічні.

Основні процеси - це процеси, що перетворюють сировину і матеріали в готову продукцію, яка визначає профіль та спеціалізацію підприємства.

До основних процесів відноситься:

Таблиця 5.1 - Основні процеси виробництва керамзитового піску

Назва процесу	Час на виконання, хв
1. Транспортування глиняної крихти стрічковим конвеєром.	1
2. Термопідготовка глиняної крихти.	20
3. Транспортування глиняної крихти стрічковим конвеєром.	1
4. Спалювання глиняної крихти в печі спалення.	30
5. Транспортування гарячого керамзитового піску стрічковим конвеєром.	1
6. Охолодження керамзитового піску в холодильнику.	15

Допоміжні процеси - це процеси, які не мають безпосереднього відношення до виробництва, але створюють умови (з технічного, енергетичного, інструментального обслуговування) для нормального і безперервного перебігу технологічного процесу.

До допоміжних процесів відносять:

- Очистка і відмивання обладнання
- Контроль якості

Підсобні процеси - це процеси, що створюють умови для успішного виконання основних та допоміжних виробничих процесів, а також забезпечують виготовлення продукції, без якої неможливий випуск основної.

До підсобних процесів відносять: прибирання цеху.

### 5.4 Визначення оптимального виду руху предметів праці

Режим роботи підприємства безперервний, тобто робочий день 24 години, 2 зміни по 12 годин кожна.

Послідовний рух предметів праці – це ВРПП, під час якого обробка сировини проводиться послідовно на кожній стадії з наступною передачею на чергову стадію.

Для даного виробництва доцільно використати послідовний ВРПП, так як вхідна сировина проходить стадії обробки таким чином, що завантажування наступної партії є неможливим, доки сировина не досягне стадії готового продукту.

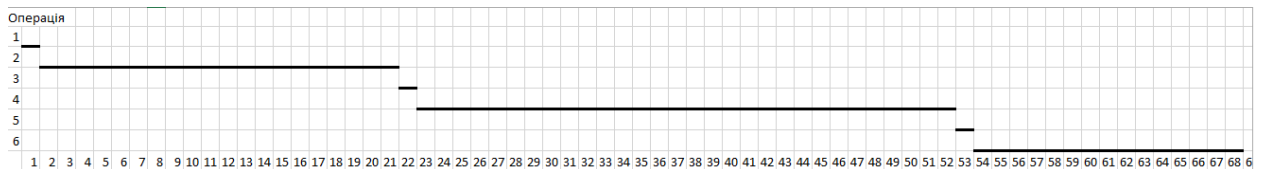
Сума тривалості операцій:

$$\sum_{i=1}^m t_i = 1 + 20 + 1 + 30 + 1 + 15 = 68 \text{ хв}$$

Випуск продукції:

$$B = 2,3 \text{ т/год}$$

Графік виглядає наступним чином:



Визначення річного випуску продукції:

$$B_{\text{рік}} = 2.3 \cdot 24 \cdot 365 = 20520 \text{ т/рік}$$

Беремо по 1 одиниці обладнання на кожну операцію, і все обладнання буде обслуговувати 1 людина.

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

Таблиця 5.2 – Графік роботи технологічних змін (представлений графік на червень місяць)

Годин и праці / дні											0	1	2	3	4	5
8:00- 20:00		II	I	V		II	I	V		II	I	V		II	I	

20:00- 8:00	V		II	I	V		II	I	V		II	I	V		II
<b>Годин и праці / дні</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>0</b>
8:00- 20:00	V		II	I	V		II	I	V		II	I	V		II
20:00- 8:00	I	V		II	I	V		II	I	V		II	I	V	



## 5.5. Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

### 5.5.1 Баланс споживання оборотних засобів

Таблиця 5.3 – Заробітна плата працівників

Посада	Кількість	Заробітна плата працівника, грн/міс	Всього
Технічний директор	1	20 000	20 000
Начальник технологічної зміни	4	15 000	60 000
Оператор	16	10 000	160 000
Майстер дільниці	4	15 000	60 000
Прибиральник	4	6 000	24 000
Охоронець	4	7 000	28 000
<b>Всього:</b>	<b>35</b>		<b>292 000</b>

В таблиці наведено заробітні плати працівників для розрахунку ФОП.

Фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} + \text{Нарахування} = 292\,000 \cdot 12 \cdot 1,22 = 4\,274\,880 \text{ грн/рік.}$$

Розрахунок електроенергії:

Вартість електроенергії розраховуємо за 2-сезонним тарифом. 2-сезонний тариф розподіляється таким чином: 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 540 кВт/год.

$$\text{Денний період: } 540 \cdot 16 = 8640 \text{ кВт}$$

$$\text{За рік: } 8640 \cdot 365 = 3\,153\,600 \text{ кВт}$$

Ціна за рік:  $3\,153\,600 \cdot 1 \cdot 2,5 = 7\,884\,000$  грн/рік

Нічний період:  $540 \cdot 8 = 4\,320$  кВт

За рік:  $4\,320 \cdot 365 = 1\,576\,800$  кВт

Ціна за рік:  $1\,576\,800 \cdot 0,5 \cdot 2,5 = 1\,971\,000$  грн/рік

Загальна ціна електроенергії:  $7\,884\,000 + 1\,971\,000 = 9\,855\,000$  грн/рік

Таблиця 5.4 - Обороти засоби підприємства

Найменування	Вартість, грн	Потреба за рік	Річна вартість, грн
Природний газ	11 450 за тис. м <sup>3</sup>	2 052 тис. м <sup>3</sup>	23 495 400
Глиняна крихта	400 за т.	25 720 т	10 288 000
Вода	9 за т.	3000 т	27 000
Електроенергія	2,5 за кВт	1 576 800 кВт	9 855 000
ФОП	-	-	4 274 880
Транспортування	400 за день	104	41 600
Усього $\Sigma =$			47 981 880

Паспорт якості:

**ТОВ «КерамзитПро»**

Паспорт № \_\_\_\_\_

на керамзитовий пісок

№	Найменування показників	Значення показника
1	Зовнішній вигляд	Чистий без плям і сторонніх домішок. Керамзитовий пісок повинен бути сипким і без грудочок.
2	Розмір фракцій	0.14-5 мм.
3	Масова частка керамзиту, %	99,7
4	Масова частка вологи, %	0,03

Дата виготовлення \_\_\_\_\_

Начальник лабораторії \_\_\_\_\_

Технолог

(підпис)

(підпис)

### 5.5.2. Калькуляція

До основних фондів відділення належать будівля цеху та технологічне обладнання, вартості яких наведено та розраховано в таблиці.

Таблиця 5.5– Вартість технологічного обладнання

Основні фонди	Кількість	Сума (грн)	Строк експлуатації (років)	Амортизація (грн/рік)	Норма амортизації, %
Конвеєр стрічковий для глиняної крихти	2	50000	5	10000	20
Піч термопідготовки глиняної крихти	1	35000	5	7000	20
Піч спалення	1	150000 0	5	300000	20
Конвеєр стрічковий для керамзитового піску	2	50000	5	10000	20
Будівля	1	500000 0	20	250000	5
<b>Всього:</b>		<b>663500 0</b>		<b>577000</b>	

ТОВ «КерамзитПро»

Адреса: м. Гостомель

Калькуляція № \_\_\_\_\_

на керамзитовий пісок

від \_\_\_\_\_ 2019р.

№	Елемент	Ціна, грн./рік
1	Сировина	10 288 000
2	Амортизаційні відрахування	577 000

3	Електроенергія	9 855 000
4	Заробітна плата	3 504 000
5	Нарахування за ЗП	350 400
Разом		24 924 800

Бухгалтер \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Економіст \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

### 5.6. Розрахунок техніко-економічних показників

Собівартість річного випуску:

$$C_p = A + O\phi_3 = 577\,000 + 47\,981\,880 = 48\,558\,880 \cdot 1.2 = 58\,270\,656 \text{ грн}$$

Собівартість одного кілограма:

$$C_{од} = \frac{C_p}{V_p} = \frac{58\,270\,656}{20\,520\,000} = 2,84 \text{ грн}$$

Ринкова оптова ціна 1800 грн/м<sup>3</sup>. Продуктивність підприємства 20 520 т/рік.

$$B = 20\,520 \text{ т} = 36\,000 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

$$B_{\text{вир}} = B \cdot Ц = 36\,000 \cdot 1800 = 64\,800\,000 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$\Pi = B_{\text{вир}} - C = 64\,800\,000 - 58\,270\,656 = 6\,529\,344 \text{ грн}$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{\Pi}{C} = \frac{6\,529\,344}{58\,270\,656} = 0,11 \text{ або } 11\%$$

Капіталовкладення:

$$K = O\Phi + O\phi_3 = 6\,635\,000 + 47\,981\,880 = 53\,665\,280 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\Pi} = \frac{53\,665\,280}{6\,529\,344} = 8,2 \text{ років}$$

Ефективність підприємства:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{6\,529\,344}{53\,665\,280} = 0,12 \text{ або } 12\%$$

$$\text{Фондовіддача: } \Phi B = \frac{B_{\text{вир}}}{O\Phi} = \frac{53\,665\,280}{6\,635\,000} = 8,08 \text{ грн/грн}$$

$$\text{Фондоємність: } \Phi \epsilon = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{8,08} = 0,12 \text{ грн/грн}$$





## 5.7 Розрахунок економічної ефективності проведення автоматизації

Проведемо матеріальну та організаційно-економічну підготовку підприємства ще раз, але з урахуванням встановлення системи автоматичного управління, розробленої в цьому дипломному проекті.

До основних засобів буде додано декілька пунктів, а саме : польове обладнання автоматизації, шафа з контролерами та щит управління оператора, а також витрати на розробку системи (нематеріальні активи).

Таблиця 5.6 – Додаткові основні фонди ( засоби автоматизації )

Основні фонди	Кількість, шт.	Вартість, грн.	Ліквідацій на вартість, грн	Текст, років	А, грн./рік
Щит управління	1	200 000	50 000	10	20 000
Шафа контролерів	1	300 000	30 000	10	30 000
Польове обладнання	1	500 000	50 000	10	50 000
Нематеріальні активи	1	150 000	15 000	12	12 500
<b>Загальна сума</b>		<b>1 150 000</b>			<b>112 500</b>

Отже, додавши значення цих витрат до розрахованих раніше значень основних фондів та амортизації отримаємо:

Вартість основних фондів з урахуванням автоматизації:

$$OF = 6\,635\,000 + 1\,150\,000 = 7\,785\,000 \text{ грн}$$

Амортизація з урахуванням автоматизації:

$$A = 577\,000 + 112\,500 = 689\,500 \text{ грн}$$

### 5.7.1. Чисельність персоналу: явочна і за списком

Явочна чисельність за умови автоматизації виробництва зміниться, оскільки відпадає необхідність у другому операторі у зміні та необхідність у другому майстрі дільниці.

Отже чисельність зміни скоротиться з 9 до 7 робітників, а чисельність денного персоналу збільшиться на 1 людину ( інженер автоматизації) і відповідно явочна чисельність скоротиться з 33 осіб до 22 осіб.

### 5.7.2. Розрахунок оборотних фондів на підприємстві

Оборотні фонди також зазнають змін у зв'язку з автоматизацією, оскільки зміниться чисельність персоналу і, відповідно, ФОП , а також зміниться потреба підприємства у сировині за рахунок зменшення меж якості. Потреба у сировині скоротиться приблизно на 5%.

Таблиця 5.7 - Заробітна плата з урахуванням автоматизації

Посада	Кількість	Заробітна плата працівника, грн/міс	Всього
Технічний директор	1	20 000	20 000
Начальник технологічної зміни	4	15 000	60 000
Інженер автоматизації	1	12 000	12 000
Оператор	4	10 000	40 000
Майстер дільниці	4	15 000	60 000
Прибиральник	4	6 000	24 000
Охоронець	4	7 000	28 000
<b>Всього:</b>	<b>22</b>		<b>244 000</b>

Розрахуємо ФОП з урахуванням змін у складі персоналу

$$\text{ФОП} = \text{ЗП} \cdot K_{\text{нарах}} = 2\,928\,000 \cdot 1,22 = 3\,513\,600 \text{ грн}$$

Таблиця 5.8 - Оборотні засоби автоматизованого підприємства

Найменування	Вартість, грн	Потреба за рік	Річна вартість, грн
--------------	---------------	----------------	---------------------



Природний газ	11 450 за тис. м <sup>3</sup>	2 052 тис. м <sup>3</sup>	23 495 400
Глиняна крихта	400 за т.	24 434 т	9 773 600
Вода	9 за т.	3000 т	27 000
Електроенергія	2,5 за кВт	1 576 800 кВт	9 855 000
ФОП	-	-	3 513 600
Транспортування	400 за день	104	41 600
Усього $\Sigma =$			46 706 200

Таблиця 5.9 - Калькуляція на випуск продукції з урахуванням автоматизації

№	Елемент	Сума, грн
1	Основні фонди підприємства (амортизаційні нарахування)	689 500
2	Сировина і матеріали	36 851 200
3	Електроенергія	9 855 000
4	ФОП	3 513 600
5	Ремонтні роботи	200 000
	Всього:	51 109 300

### 5.7.3. Розрахунок техніко-економічних показників з урахуванням автоматизації.

Собівартість річного випуску:

$$C_p = A + O_{63} = 689\,500 + 46\,706\,200 = 47\,395\,700 \cdot 1.2 = 56\,874\,840 \text{ грн}$$

Собівартість одного кілограма:

$$C_{од} = \frac{C_p}{B_p} = \frac{56\,874\,840}{20\,520\,000} = 2,77 \text{ грн}$$

Ринкова оптова ціна 1800 грн/м<sup>3</sup>. Продуктивність підприємства 20 520 т/рік.

$$B = 20\,520 \text{ т} = 36\,000 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

$$B_{\text{вир}} = B \cdot C = 36\,000 \cdot 1800 = 64\,800\,000 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$\Pi = B_{\text{вир}} - C = 64\,800\,000 - 56\,874\,840 = 7\,925\,160 \text{ грн}$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{\Pi}{C} = \frac{7\,925\,160}{56\,874\,840} = 0,15 \text{ або } 15\%$$

Капіталовкладення:

$$K = \text{ОФ} + \text{ОБЗ} = 6\,635\,000 + 46\,706\,200 = 53\,341\,200 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\Pi} = \frac{53\,341\,200}{7\,925\,160} = 6,7 \text{ років}$$

Ефективність підприємства:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{7\,925\,160}{53\,341\,200} = 0,15 \text{ або } 15\%$$

$$\text{Фондовіддача: } \Phi B = \frac{B_{\text{вир}}}{\text{ОФ}} = \frac{53\,341\,200}{6\,635\,000} = 8,04 \text{ грн/грн}$$

$$\text{Фондоємність: } \Phi E = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{8,04} = 0,12 \text{ грн/грн}$$

Таблиця 5.10 - Порівняння техніко-економічних показників

Показник	Підприємство без САУ	Підприємство з САУ	Розмірність
Випуск продукції	20 520	20 520	т/рік
Ціна	64 800 000	64 800 000	грн/рік
Чисельність персоналу	33	21	осіб
Собівартість	58 270 656	56 874 840	грн/рік
Прибуток	6 529 344	7 925 160	грн/рік
Капіталовкладен ня	53 665 280	53 341 200	грн
Рентабельність	11	15	%

Економічна ефективність	0,12	0,15	грн/грн
Період повернення капіталовкладень	8,2	6,7	роки
Фондовіддача	8,08	8,04	грн/грн
Фондоємність	0,12	0,12	грн/грн

З наведеної вище таблиці можна зробити висновок, що автоматизоване виробництво, у ядрі якого закладено модель процесу, що була розроблена у даному проекті, є значно ефективнішим з економічної точки зору. Період повернення капіталовкладень скорочується з 8,2 до 6,9 років, прибуток також збільшується на 21 %.

## **6 Вибір засобів із охорони праці**

Технологічна частина проекту подає інформацію про те, що у проєктованому виробництві використовуються шкідливі й небезпечні виробничі фактори, до складу яких входять: пожежонебезпечні матеріали та речовини, електроенергія, механічна, теплова енергії, енергія стисненого газу.

Цеха, обладнані стрічковими конвеєрами живильниками, (пневматичними полюсами) та рейковим транспортом.

При проєктуванні виробництва прийняті проєктні рішення, які відповідають вимогам охорони праці та пожежної профілактики.

Проаналізувавши шкідливі і небезпечні виробничі фактори на даному виробництві, розроблено заходи щодо створення у виробничих приміщеннях оптимальних умов праці та пожежної профілактики.

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

#### **6.1.1 Повітря робочої зони**

Відповідно до ДСН 3.3.6.042 – 99, роботи у виробничому цеху відносяться до категорії середньої важкості Пб. Оптимальні значення параметрів мікроклімату, прийняті проєктом, наведені в табл 6.1.

На заводі з виробництва керамзитового піску передбачається виділення шкідливих речовин, тому представлено коротку санітарну характеристику виробничих приміщень проєктованого об'єкта, викладена в табл 6.1.

Таблиця 6.1 - Оптимальні і допустимі значення параметрів мікроклімату заводу з виробництва керамзитового піску

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна волога, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості ПБ	17 – 19	40 – 60	0.2
Теплий		20 – 22	40 – 60	0.3

Для нормалізації повітря робочої зони проектом передбачена теплоізоляція обертової печі, пристрій штучної вентиляції. Природний обмін повітря приміщення здійснюється за допомогою віконних прорізів, кватирок. Передбачено повітряні душі пультів операторів обертової печі.

Для нормалізації мікроклімату застосовуємо змішану загально обмінну вентиляцію, для рівномірного повітрообміну. Місцева вентиляція служить для подачі свіжого повітря до робочого місця. Витяжна вентиляція - передбачена для видалення перегрітого та забрудненого повітря з місця його утворення. Для підвищення ефективності вентиляційних систем передбачена герметизація всього технологічного обладнання та укриття місць пиловидалення із пристроєм місцевих відсмоктувачів. Передбачено аварійну вентиляцію (тільки витяжна), призначена для швидкого видалення великих кількостей шкідливих та вибухонебезпечних речовин, а також забрудненого пилом повітря, що виникає при порушеннях технологічного процесу або аваріях технологічного обладнання.

У холодну пору року буде використатися система центрального парового опалення, що забезпечує необхідний температурний режим у цехах. Також у холодний період у дверних прорізах буде працювати повітряна завіса. Для контролю мікроклімату використовуються: термометри, психрометри.

Розрахунок аерації приміщення.

При розрахунку аерації визначаються площі нижніх та верхніх вентиляційних отворів. Розрахунок проводиться для найбільш несприятливих умов: літній час, швидкість вітру дорівнює нулю.

Температура повітря всередині приміщення в площині припливних отворів дорівнює температурі робочої зони:

$$t_{в1} = t_{pz} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура в площині витяжних отворів:

$$t_{в1} = t_{pz} + \Delta t \cdot (H - 2), \text{ де}$$

$\Delta t$  = температурний градієнт ( $0,8 \div 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C/м}$ ), приймаємо  $= 1,2 \text{ }^{\circ}\text{C/м}$ ;

$H$  = висота розміщення витяжного отвору.

$$t_{в1} = 24 + 1,2 \cdot (2,9 - 2) = 25,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Вважаємо, що температура зовнішнього повітря по висоті від площини припливних отворів до площини витяжних отворів однакова:

$$t_{н} = 22,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Густина зовнішнього повітря:

$$\rho_{н} = \frac{353}{273 + t_{н}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$$

Густина внутрішнього повітря:

знизу приміщення:

$$\rho_{в1} = \frac{353}{273 + t_{в1}} = 1,188 \text{ кг/м}^3$$

зверху приміщення:

$$\rho_{в2} = \frac{353}{273 + t_{в2}} = 1,184 \text{ кг/м}^3$$

Різниця тисків на рівні припливних та витяжних отворів ззовні та зсередини приміщення:

припливний отвір:

$$\Delta P_1 = g \cdot h_1 \cdot (\rho_{н} \cdot \rho_{в1}) = 0,64 \text{ Па}$$

витяжний отвір:

$$\Delta P_2 = g \cdot h_2 \cdot (\rho_{н} \cdot \rho_{в2}) = 0,86 \text{ Па}$$

$$h_1 = 1,1 \text{ м}; h_2 = 1,4 \text{ м}; g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Визначимо мінімальні значення площ припливного та витяжного отворів.

Вікна верхнього ярусу мають середньопідвісні ставні з кутом відкриття  $60^{\circ}$ ,  $\xi_{вн} = 3,2$ - коефіцієнт місцевого опору. Вікна нижнього ярусу мають верхньопідвісні ставні з кутом відкриття  $45^{\circ}$ ,  $\xi_{нр} = 3,7$ .

Звідси знайдемо:

$$F_1 = \frac{G}{3600} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{в1}}}{g \cdot h_1 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в1}})}} \text{ м}^2$$

$$F_1 = \frac{1242}{3600} \cdot \sqrt{\frac{3,7 \cdot 1,188}{9,81 \cdot 1,1 \cdot (1,2 - 1,188)}} = 0,77 \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{G}{3600} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{внт}} \cdot \rho_{\text{в2}}}{g \cdot h_1 \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в2}})}} \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{1242}{3600} \cdot \sqrt{\frac{3,7 \cdot 1,184}{9,81 \cdot 1,4 \cdot (1,2 - 1,184)}} = 1,28 \text{ м}^2$$

Площа припливних отворів складає:  $F1 = 0,78 \text{ м}^2$ ;

Площа витяжних отворів складає:  $F2 = 1,28 \text{ м}^2$ .

### 6.1.2 Виробниче освітлення

Згідно ДБН В.2.5-28-06, на підприємстві виконуються роботи III розряду зорових умов.

У проекті передбачене комбіноване освітлення, причому природне освітлення комбіноване - бічне з верхнім. Проектом прийняті наступні системи освітлення: робоче, аварійне, ремонтне.

Нижче в табл 6.2 представлені санітарні норми освітлення, наведені значення параметрів освітлення, прийняті проектом.

Таблиця 6.2 - Норми параметрів освітлення

Розряд зорових робіт	Характер зорових робіт	Освітленість при штучному освітленні, Е, ЛК	Значення КЕО, %			
			при природному освітленні		при сполученому освітленні	
			спеціальн е	верхнє	спеціальн е	верхнє
III	Загальне постійне спостереження за ходом виробничого процесу	300	0.2	1	0.2	0.7

Система штучного освітлення – комбінована, на виробництві прийняті люмінесцентні лампи низького тиску типу ЛД. У місцях установки обладнання з обертовими робочими органами освітлення здійснюється лампами накаливання, установленими у світильники прямого світла "Універсаль", "Глибокоизлучатель" . Для аварійного й евакуаційного освітлення передбачене застосування ламп накаливання, поміщених у світильник "Альфа", а також переносних світильників "Універсаль" УП-200, напругою 12В.

При відключенні робочого освітлення передбачена система аварійного освітлення. Світильники аварійного освітлення приєднуються до мережі робочого освітлення з автоматичним перемиканням на незалежне харчування.

Стіни й стелі пофарбовані у світлі тони, внутрішні поверхні огорожень і небезпечні елементи механізмів - у червоний.

Контроль освітленості здійснюється люксометром Ю - 116 не менше 1 разу на рік, а також після ремонту приміщень.

### 6.1.3 Виробничий шум і вібрації

Основними джерелами шуму на заводі з виробництва керамзитового піску є вентилятори гострого дуття холодильника - 1 агрегат на одній



технологічній лінії. Крім цього, джерелами шуму є циклон, газодувки, вентилятори загального дуття та охолодження електродвигунів, стрічкові конвеєри для транспортування глиняної крихти та керамзитового піску, електроприводи обладнання. За ДСН 3.3.6.037 - 99 допустимий рівень звуку у виробничих приміщеннях - 80 дБА. Фактичний рівень становить 77 дБА.

Також в приміщенні існують джерела, що викликають вібрацію. До них відносяться габаритне устаткування і його вузли, які обертаються з великою швидкістю.

Для боротьби із шумом передбачаються наступні заходи: керування всіма агрегатами зі спеціальних звукоізолюючих кабін; внутрішні поверхні облицьовані матеріалами, які вбирають шум. Для зменшення вібрації використовується віброізоляція. В якості таких пристроїв використовуються амортизатори під обладнання, що вібрує. В пристроях повітреводів та у місцях їх проходження через будівельні конструкції передбачені гнучі вставки.

#### **6.1.4 Електробезпека**

Проектом передбачено здійснювати живлення електроустаткування від трифазної 4-х провідної електричної мережі змінного струму промислової частоти із глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Можливе ураження електричним струмом у результаті дотику з струмопровідними неструмоведучими частинами обладнання, що опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції, а також ураження кроковою напругою та через електричну дугу.

Відповідно до ГОСТ 12.1.038 – 82, допустимі рівні напруги дотику ( $U_d$ ) і струму, що проходить через тіло людини ( $I_l$ ) дорівнює: при нормальному режимі роботи електроустаткування  $U_d = 2В$ , а  $I_l = 0.3mA$ ; при аварійному - відповідно 36В і 6мА. Припустимі значення струму й напруги:

у нормальному режимі роботи:

$I_l = 0,3 \text{ ма}$  і  $U_{np} = 2 \text{ В}$ , при часі дії до 10 хв/добу;

в аварійному режимі роботи:

$I_l = 6 \text{ ма}$  і  $U_{np} = 36 \text{ В}$ , при контакті більше 1 с.

Однофазний дотик зустрічається набагато частіше, ніж двофазний. Такий дотик менш небезпечний, тому що до тіла людини прикладається лінійна напруга.

Струм, що проходить через людину в цьому випадку, складе:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_0}, \text{ мА}$$

де  $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$  – фазна напруга, В;

$R_{\text{л}} = 2000 \text{ Ом}$  – опір тіла людини, Ом;

$R_0 = 30 \text{ Ом}$  – опір нейтралі заземлення, Ом.

$$I_{\text{л}} = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 109,8, \text{ мА}$$

При цьому напруга дотику складе:

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} = 0,1098 \cdot 2000 = 219,6 \text{ В}$$

Для електробезпеки на заводі розроблені наступні заходи: занулення електроустаткування; захист електропроводки від механічних ушкоджень прокладкою проводів у металевих трубах, схованої, у металорукавах; установка електроустаткування відповідно до умов навколишнього середовища, закриті пилонепроникні електродвигуни та світильники; захисне відключення електроустаткування; електрозахистні засоби: діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги, діелектричні калоші, що ізолюють підставки, тимчасові огороження, захисні окуляри, подвійна ізоляція, застосування малих напруг.

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

Небезпечним обладнанням на підприємстві є обертова піч, що працює при температурі випалу сировинної суміші до спалення при  $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Загрозу для працюючих становлять мазутопроводи, паропроводи. У ході технологічного процесу крім пилу, виділяється окис вуглецю, що негативно позначається на здоров'ї людей.

На технологічному обладнанні є робочі площадки, розташовані на висоті до 10 м, небезпечні тим, що не виключено можливість падіння людей з висоти. Тому вони огорожені перилами висотою до 1 м.

Для захисту людей від деталей, що обертаються і рухаються, устаткування змонтоване так, що вони вкриті в корпусі та немає необхідності обгороджувати корпус устаткування. В устаткуванні, де не передбачене приховання в корпус частин, що рухаються і обертаються, вони будуть розташовуватися на висоті не менш ніж 2 м від підлоги й захищатися захисними кожухами та сітками.

## **6.2 Пожежна безпека**

На заводі з виробництва керамзитового піску горючими елементами є дерев'яні двері, віконні рами, покрівля, шафи і одяг у побутових приміщеннях, фарба на устаткуванні, а також при викиді мазути може виникнути пожежа.

Проектом передбачені наступні заходи пожежної безпеки: у цехах є протипожежний водопровід, пожежні крани, діаметром 50мм і довжиною рукава 20 м згідно СНиП 2.09. 02-85; застосовуються пінні вогнегасники ОХП-10; у приміщенні є ємності з піском і пожежні щити; змонтований сигналізація з датчиками РП-50 і СТХ-174; підтримка опору ізоляції струмоведучих частин; захист ізоляції від теплового, механічного та агресивного впливу; Для забезпечення максимальної безпеки кабелі будуть укладатися в спеціальні канали, проводку - у металеві рукава, у металеві труби, використовуються плавкі запобіжники.

Для захисту від прямого удару блискавки передбачений стрижньовий блискавковідвід. Підприємство буде підключатися до міської газової сітки через засувку, що відключає. Тиск газу, що надходить на завод, буде знижуватися до необхідної величини в газорегуляторному пункті. Газові пальники будуть випробовуватися на повноту спалювання газу, меж регулювання. Газові агрегати будуть мати автоматичне регулювання процесу горіння, автоматику безпеки. До обслуговування печей, теплообмінників і інших газифікованих агрегатів будуть допускатися обличчя, що здали техмінімум і посвідчення, що мають, на право роботи на цих агрегатах.

Таблиця 6.3 – Класифікація виробництва по пожежо- та вибухонебезпеці та облаштуванню блискавкозахисту

Найменування установки		Речовини, які беруть участь у виробництві		Агрегат .стан речовини при н.у.		Горючість, займистість, вибухонебезпечність		Температура запалення, °З		Межі запалення в обсязі, %		Вибухонебезпечні суміші в повітрі		Вогнегасні засоби		Категорія приміщення по ЗНТП 24-86		Клас приміщення по ПБЕ		Категорія об'єкту і тип зони по пристрою блискавкозахисту по СН 305-77	
Обертova піч	Мазут М40	Текстоліт	рід	ГГ	674	0,5	ІА	Т1	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5
Обертova піч	Машинне масло	рід	ГГ	ГГ	258	0,5	ІА	Т2	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5
Обертova піч	Дерево	рід	ГГ	ГГ	395	-	-	Т1	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5	ВХП ВВ5

### **Висновки до розділу**

В даному розділі було розглянуто основні параметри виробничого середовища, що можуть призвести до виникнення аварійних або небезпечних ситуацій на підприємстві з виробництва керамзитового піску.

Згідно з нормативною документацією було визначено ступінь важкості робіт, що виконуються на цьому підприємстві, визначено санітарні норми параметрів мікроклімату та передбачені заходи для їх нормалізації.

Було визначено, які засоби індивідуального захисту повинні використовувати працівники підприємства від негативного впливу хімічних речовин, що можуть бути присутніми в цеху, а саме протигази, захисні костюми, респіраторні маски.

В даному розділі наведено основні правила техніки безпеки на виробництві, показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин та матеріалів та заходи для запобігання виникненню пожеж або вибухів у цеху. Всі наведені рекомендації необхідно взяти до уваги при проектуванні виробничого процесу з отриманням керамзитового піску.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі розглянуто технологічну схему виробництва керамзитового піску, що отримується шляхом випалу зі спучуванням глини під дією високих температур. В ході роботи було пораховано матеріальний баланс вхідних та вихідних речовин, що зійшовся. Звідси можна зробити висновок, що розрахунки вірні. На виході процесу буде отримано 20 520 т готового продукту – керамзиту, фракції пісок.

Розроблено обчислювальний модуль для комп'ютерного розрахунку параметрів циклону та повірочний розрахунок циклону. Складено математичну модель руху частинки в циклоні, на основі якої і було виконано повірочний розрахунок циклону. В результаті отримали конструктивні параметри циклону, при яких буде отримуватись високий ступінь очищення димових газів.

Для контролю заданого процесу виробництва керамзитового піску розроблено схему автоматизації, яка включила в себе 5 регулюючих контурів та 9 контурів контролю та реєстрації (в тому числі один контур контролю та сигналізації), а також 3 контури для дистанційного керування електромоторами. Дана схема дозволить проводити технологічний процес виробництва згідно технологічного регламенту.

Розраховані економіко – технічні характеристики, а саме: ціну річного випуску, собівартість, капіталовкладення та прибуток за рік. Також розраховано економічний ефект автоматизованого виробництва та проведено порівняння отриманих параметрів із неавтоматизованим підприємством. Автоматизація підприємства є доцільною, оскільки дає змогу скоротити термін повернення капіталовкладень із 8,2 до 6,9 років, а також збільшити прибуток на 21%.

Також було розглянуто основні параметри виробничого середовища, що можуть призвести до виникнення аварійних або небезпечних ситуацій на підприємстві з виробництва керамзитового піску. Згідно з нормативною документацією було визначено ступінь важкості робіт, санітарні норми параметрів мікроклімату. Також визначено, які засоби індивідуального захисту повинні використовувати працівники підприємства.



## Перелік посилань

1. Онацкий С.П., Производство керамзита, М., Стройиздат, [Текст] – Москва 1971, с. 331.
2. Дипломне проектування: Виконання і захист дипломного проекту ступеню "бакалавр" [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю.О. Безносик, Т.В. Бойко, С.Г. Бондаренко, О.А. Підлісна, А.М. Шахновський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 54 с.
3. Розроблення обчислювального модулю розрахунку апарату: метод. вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» для студентів напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Навчальне електронне видання]/ [уклад. Бойко Т. В., Жигір О. М., Бондаренко О. С., Абрамова А. О.] – Київ: 2014. - 59 с.
4. Н.И.Ватин, К.И.Стрелец «Очистка воздуха при помощи аппаратов типа циклон» [Текст] – Санкт-Петербург: 2003. – 65 с.
5. Керамзитовый песок [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://stroirs.com.ua/keramzitovyy-pesok/>
6. Основні властивості пилу [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://helpiks.org/6-79206.html>
7. Автоматизація виробництва [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: [http://leksika.com.ua/14590704/ure/avtomatizatsiya\\_virobnitstva](http://leksika.com.ua/14590704/ure/avtomatizatsiya_virobnitstva)
8. Приклади побудови умовних позначень окремих [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <https://studopedia.info/5-73697.html>
9. ТРМ210 ПИД-регулятор с универсальным входом [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <https://www.owen.ru/product/trm210>
10. КД140-001-ОМ4 [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <https://zapadpribor.com/kd140-001-om4/>



11. Преобразователь давления 628-07 [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <http://www.svaltera.ua/catalog/758/5579.php>
12. УПС 1 [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <http://www.kaskad-electro.ru/magazin/tag/%D0%A3%D0%9F%D0%A1+1>
13. Вимірювання витрати сипучих матеріалів [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: [https://kck.ua/dir/oborudovanie\\_dlya\\_sypuchih/rashod/vycokoproizvodit-elnyj-rackhodommer-cypuchikh-materialov-maxxflow.html](https://kck.ua/dir/oborudovanie_dlya_sypuchih/rashod/vycokoproizvodit-elnyj-rackhodommer-cypuchikh-materialov-maxxflow.html)
14. Сільське господарство [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <https://issuu.com/nenc/docs/sh>
15. Виробничий процес, його різновиди і структура [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: [http://pidruchniki.com/12461220/ekonomika/virobnichiy\\_protse\\_organizatsiyi\\_tipi\\_virobnitstva](http://pidruchniki.com/12461220/ekonomika/virobnichiy_protse_organizatsiyi_tipi_virobnitstva)
16. Види руху предметів праці. [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: [http://bookwu.net/book\\_kl-z-organizaci-planuvannya-ta-upravlinnya\\_977/25\\_3.6.-vidi-ruhu-predmetiv-praci](http://bookwu.net/book_kl-z-organizaci-planuvannya-ta-upravlinnya_977/25_3.6.-vidi-ruhu-predmetiv-praci)
17. Методи планування чисельності персоналу. [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <http://buklib.net/books/27958/>
18. Організація контролю якості продукції [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: [http://pidruchniki.com/15890315/ekonomika/organizatsiya\\_kontrolyu\\_ya\\_kosti\\_produktsiyi](http://pidruchniki.com/15890315/ekonomika/organizatsiya_kontrolyu_ya_kosti_produktsiyi)
19. Оборотні активи та їх організація на підприємствах [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: [http://pidruchniki.com/1463062153094/finansy/oborotni\\_aktivi\\_organizatsiya\\_pidpriyemstvah](http://pidruchniki.com/1463062153094/finansy/oborotni_aktivi_organizatsiya_pidpriyemstvah)
20. Пожежонебезпечна характеристика об'єктів [Електронний ресурс] :– Режим доступу.:

[http://pidruchniki.com/1342012039049/bzhd/pozhezhonebezpechna\\_harakteristika\\_obyektiv](http://pidruchniki.com/1342012039049/bzhd/pozhezhonebezpechna_harakteristika_obyektiv)

21. Орленко, А. Т. Методичні вказівки щодо загальних вимог з охорони праці до технологічних процесів і обладнання при переробці пластмас у виробі [Текст] : навч. посіб. для студ. ВНЗ / А. Т. Орленко, І. О. Фоменко, Ю. О. Полукаров, Н. А. Праховнік. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 30 с.
22. Законодавство про охорону праці [Електронний ресурс] :– Режим доступу.: <https://refdb.ru/look/1076513-pall.html>
23. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления [Текст] / В. Я. Ротач. – М. : МЭИ, 2008. – 396с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Результати розрахунку матеріальних балансів в Mathcad15

##### Визначення вагової кількості сировини на обпал 1 кг керамзиту

###### 1. Питома витрата сировини

$$\gamma := 0.4 \quad \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \quad \text{насипна об'ємна вага керамзиту}$$

$$W := 22 \quad \% \quad \text{вологість сировини} \quad G := 20520 \cdot 10^3 \quad \text{кг}$$

$$\text{ППП} := 8 \quad \%$$

$$i := 3 \quad \% \quad \text{втрати матеріалу з "уносом"}$$

$$G_c := \frac{\gamma}{\frac{1}{100} \cdot (100 - W) \cdot \frac{1}{100} \cdot (100 - \text{ППП}) \cdot \frac{1}{100} \cdot (100 - i)} = 0.575 \quad \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$$

$$G_{c1} := \frac{G_c}{\gamma} = 1.437 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad G_{c1p} := \frac{G_{c1}}{8760} \cdot G = 3.365 \times 10^3 \quad \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

###### 2. Питома витрата сухої сировини

$$G_{cc} := \frac{G_{c1} \cdot (100 - W)}{100} = 1.121 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad G_{ccp} := G_{cc} \cdot G = 2.299 \times 10^7 \quad \frac{\text{кг}}{\text{рік}}$$

###### 3. Визначення покомпонентного складу сировини, $\frac{\text{кг}}{\text{год}}$

$$PPP := G_{c1p} \cdot 0.08 = 269.221$$

$$G_{SiO_3} := G_{c1p} \cdot 0.54 = 1.817 \times 10^3$$

$$G_{Al_2O_3} := G_{c1p} \cdot 0.22 = 740.358$$

$$G_{Fe_2O_3} := G_{c1p} \cdot 0.08 = 269.221$$

$$G_{MgO} := G_{c1p} \cdot 0.02 = 67.305$$

$$G_{CaO} := G_{c1p} \cdot 0.02 = 67.305$$

$$G_{Na_2OK_2O} := G_{c1p} \cdot 0.04 = 134.611$$

$$G_{sum} := G_{SiO_3} + G_{Al_2O_3} + G_{Fe_2O_3} + G_{MgO} + G_{CaO} + G_{Na_2OK_2O} + PPP = 3.365 \times 10^3$$

**Визначення кількості газоподібних і пароподібних продуктів, що виділяються при нагрівання глини**

3. Вихід фізичної води

$$f_{H_2O} := G_{c1} - G_{cc} = 0.316 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

4. Вихід хімічно зв'язаної води

$Al_2O_3 := 22 \quad \%$  вміст глинозему в глині

$$h_{H_2O} := \frac{0.35 \cdot Al_2O_3}{100} = 0.077 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

5. Загальна кількість випареної води

$$H_2O := f_{H_2O} + h_{H_2O} = 0.393 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad H_{2Op} := H_2O \cdot G = 8.066 \times 10^6 \quad \frac{\text{кг}}{\text{рік}}$$

6. Вихід  $CO_2$  з карбонатів, що містяться в глині

кількість  $CaCO_3$ , що міститься в глині  $CaO := 2 \quad \%$

$$CaCO_3 := \frac{CaO \cdot 100}{56} = 3.571 \quad \% \quad \text{або} \quad G_{CaCO_3} := \frac{G_{cc} \cdot CaO}{56} = 0.04 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

кількість  $MgCO_3$ , що міститься в глині  $MgO := 2 \quad \%$

$$MgCO_3 := \frac{MgO \cdot 84.32}{40.32} = 4.183 \quad \%$$

$$G_{MgCO_3} := MgCO_3 \cdot \frac{G_{cc}}{100} = 0.047 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

кількість  $CO_2$ , що вивільняється з карбонатів глини

$$CO_2 := CaCO_3 - CaO + MgCO_3 - MgO = 3.754 \quad \%$$

$$G_{CO_2} := G_{cc} \cdot \frac{CO_2}{100} = 0.042 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \quad G_{CO_2p} := G_{CO_2} \cdot G = 8.632 \times 10^5 \quad \frac{\text{кг}}{\text{рік}}$$

