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

**Хіміко-технолологічний 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 напряму підготовки** 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**на тему:** «Комп’ютерне моделювання та автоматизація процесу випарювання у виробництві нітроамофоски»

Виконав:
студент IV курсу, групи ХА-51
Мельник Микола Андрійович _____

Керівник:
доц., к.т.н., 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)

Напрям 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**

Мельнику Миколі Андрійовичу

1. Тема проекту Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу випарювання у виробництві нітроамофоски, 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 | Кресленик монтажу технічного засобу автоматизації (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 _____ М. А. Мельник
(підпис)

Керівник проекту _____ Т. В. Бойко .
(підпис)

# РЕФЕРАТ

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВИПАРЮВАННЯ НІТРАТУ АМОНІЮ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, НІТРОАМОФОСКА

Пояснювальна записка 99 с., 19 рис., 28 табл., 3 додатка, 28 джерел.

Темою даного проекту є комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу випарювання у виробництві нітроамофоски.

Метою даного проекту є комп'ютерне моделювання схеми виробництва нітроамофоски, розрахунок основних характеристик, проектний розрахунок випарного апарату, розробка обчислювального модуля для проектування, розробка схеми автоматизації.

В проекті обґрунтовано норми технологічних режимів, наведена технологічна схема виробництва нітроамофоски. Розглянуті характеристики технологічної схеми процесу випарювання.

Виконано комп'ютерний розрахунок матеріального балансу процесу в програмі — симуляторі Chemcad 7.1.2.

Побудовано алгоритм проектного розрахунку однокорпусного випарного апарата плівкового типу із застосуванням ітераційних процедур щодо визначення параметрів процесу.

Розроблено обчислювальний модуль для проведення розрахунку апарату за допомогою мови програмування C#.

Розроблено схему автоматизації процесу. Обрані необхідні пристрої для контролю і регулювання.

Проведено економіко-організаційні розрахунки основних техніко-економічних показників даного виробництва з урахуванням автоматизації виробництва.

Розглянуто техніку безпеки проведення виробничого процесу. Наведено технічні рішення з техніки безпеки.

# РЕФЕРАТ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ВЫПАРИВАНИЕ НИТРАТА АМОНИЯ, МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС, НИТРОАММОФОСКА

Пояснительная записка 99 с., 19 рис., 28 табл., 3 приложения, 28 источников.

Темой данного проекта является компьютерное моделирование и автоматизация процесса выпаривания в производстве нитроаммофоски.

Целью данного проекта является компьютерное моделирование схемы производства нитроаммофоски, расчет основных характеристик, проектный расчет испарительного аппарата, разработка вычислительного модуля для проектирования, разработка схемы автоматизации.

В проекте обоснованно нормы технологических режимов, приведена технологическая схема производства нитроаммофоски. Рассмотрены характеристики технологической схемы процесса выпаривания.

Выполнен компьютерный расчет материального баланса процесса в программе - симуляторе Chemcad 7.1.2.

Построен алгоритм проектного расчета однокорпусного испарительного аппарата пленочного типа с применением итерационных процедур по определению параметров процесса.

Разработан вычислительный модуль для проведения расчета аппарата с помощью языка программирования C #.

Разработана схема автоматизации процесса. Избраны необходимые устройства для контроля и регулирования.

Проведены экономико-организационные расчеты основных технико-экономических показателей данного производства с учетом автоматизации производства.

Рассмотрена техника безопасности проведения производственного процесса. Приведены технические решения по технике безопасности.

c

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень ..... 9

ВСТУП ..... 10

1 Технологічна схема отримання нітроамофоски ..... 13

1.1. Опис технологічної схеми ..... 13

2 Розрахунок матеріальних балансів процесу виробництва нітроамофоски .. 15

2.1. Розрахунок матеріального балансу в середовищі ChemCad ..... 15

3 Комп'ютерний розрахунок випарного апарату ..... 19

3.1. Алгоритм розрахунку основних параметрів ..... 25

3.2. Технічне завдання на розробку обчислювального модуля ..... 31

3.3. Програмний модуль для процесу випарювання ..... 31

4 Автоматизація технологічної схеми процесу випарювання нітрату амонію ..... 41

4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми ..... 41

4.2 Визначення параметрів автоматизації ..... 42

4.3 Опис схеми автоматизації ..... 46

5 Економіко-технічні розрахунки ..... 50

5.1 Схема організації цеху виробництва нітроамофоски ..... 50

5.2 Технологічна підготовка виробництва ..... 51

5.3 Розрахунок необхідної кількості обладнання та працівників ..... 53

5.4 Контроль виробництва ..... 55

5.5 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва ..... 56

5.6 Розрахунок техніко-економічних показників ..... 60

5.7 Перерахунок техніко-економічних показників з використанням модернізації ..... 61

6 Аналіз охорони праці ..... 64

6.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів на проектованому об’єкті. Заходи з охорони праці..... 64

6.1.1 Повітря робочої зони ..... 64

6.1.2 Виробниче освітлення ..... 65

6.1.3 Захист від виробничого шуму й вібрацій ..... 69

6.1.4 Електробезпека ..... 69

6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання ..... 71

6.2 Пожежна безпека ..... 71

ВИСНОВКИ ..... 73

Список використаних джерел..... 74

ДОДАТКИ ..... 77

Додаток А ..... 77

Додаток Б ..... 80

Додаток В..... 82

## Перелік умовних позначень та скорочень

АГ – амонізатор-гранулятор;

ВТН – використання теплоти нейтралізації;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

АРМ – автоматичне робоче місце;

$V$ – об’єм, м$^3$;

$t$, с – час;

$Ci$ – концентрація, Кмоль/м$^3$;

$T$ – температура, $^o$К;

$D$ – діаметр, м;

$F$ – витрата, м$^3$/с;

$L$ – довжина, м;

$\tau$ – час перебування в реакторі, с;

$k_i$ – константи швидкості хімічної реакції;

$l$ – координата довжини реактора, м;

$u$ – середня лінійна швидкість потоку в реакторі, м/с;

ГДК – гранично допустима концентрація;

Ц – ціна на продукцію (послугу чи роботу);

ОФ – основні фонди;

С – собівартість;

ФЄ – фондоємність;

Р – рентабельність;

ФВ – фондовіддача виробничих фондів;

Е – коефіцієнт економічної ефективності;

П – прибуток;

$Т_п$ – термін повернення капіталовкладень;

А – амортизація основних фондів;

## ВСТУП

Мінеральні добрива здобули широку популярність серед аграріїв усього світу завдяки своїм унікальним властивостям, які допомагають наситити посівні площі надважливими макро- та мікроелементами. Крім того, від внесення добрив напряму залежить урожайність сільськогосподарських культур. А ще дані хімічні суміші допомагають рослинам виробляти стійкість до різноманітних негативних чинників, починаючи від заморозків і закінчуючи шкідливими комахами [1].

Серед найбільш значущих елементів, що впливають на активність розвитку культур, перші місця посідають азот і фосфор. Не останню роль відіграє і калій. Саме тому комплексне мінеральне добриво, у складі якого містяться ці три речовини, і користується таким попитом на агрохімічному ринку. Мова йде про нітроамофоску, яка володіє як сильними сторонами, так і недоліками (втім, як і всі інші добрива). Нітроамофоска може бути агресивною сумішшю, що вимагає точного і досвідченого внесення. З іншого боку, вона настільки високоефективна, що більшість спеціалістів не лякають її негативні якості [1].

Основний плюс – дуже висока концентрація речовин, необхідних для стимулювання росту рослин, а також збільшення їх врожайності. Щодо загальної маси добрива частка необхідних рослинам речовин становить 30%.

Нітроамофоска є вогне- і вибухонебезпечною речовиною, отже, потрібно строго суворо за умовами зберігання і тримати нітроамофоску подалі від вогню [2].

Прогресивним напрямом в переробці фосфатної сировини є застосування методу азотнокислотного розкладання апатитів і фосфоритів. Цей метод дозволяє використовувати азотну кислоту не тільки як засіб для розкладання нерозчинних середніх фосфатів в розчинну форму, але і як додаткове джерело поживних елементів. На основі азотнокислотного розкладання фосфатів зазвичай отримують складні NP- або NPK-добрива [3].

Сировиною є: апатитовий концентрат, азотна кислота, рідкий аміак, вуглекислота, хлористий калій, карбамід [3].

Кольський апатитовий концентрат – краща в світі фосфатна сировина. Апатитовий концентрат повинен містити: $Ca_5F(PO_4)_3$ в перерахунку на $P_2O_5$ більше 39,4%; води - менше 1,0%; оксиди заліза і алюмінію менше 3,0%; оксиду магнію менше 0,23%; крупність концентрату не повинна перевищувати 11,5% залишку на ситі № 016 (розмір осередків 16мм); щільність – 3,1 т/м$^3$; насипна щільність – 1,5-1,8 т/м$^3$; молекулярна маса 504,3 [3].

Азотна кислота – безбарвна рідина, сильний окислювач, молекулярна маса – 63,02. Застосовують азотну кислоту з концентрацією н/м 57% (вищий сорт) і н/м 56% (1-й сорт); з вмістом $NO_x$ в перерахунку на $N_2O_4$ н/б 0,07% [3].

Рідкий аміак технічний. Застосовується двох марок: 99,6% (марка Б) і 99,96% (марка А); з вмістом олії н/б 8 мг/л, води н/б 0,4%, заліза н/б 2 мг/л. Аміак при нормальній температурі і атмосферному тиску перебуває в газоподібному стані [3].

Хлористий калій – кристалічний порошок сірувато-білого або червоно-бурого кольору. Масова частка KCl н/м 95%, в перерахунку на $K_2O$ н/м 60%; води н/б 1,0%; молекулярна маса 74,55 [3].

Діоксид вуглецю – безбарвний газ, без запаху, важчий за повітря в 1,5 рази, погано розчиняється у воді. Об'ємна частка $CO_2$ н/м 98,5%; CO н/б 0,05%; щільність – 1,977г/дм$^3$ [3].

Карбамід – гранули білого кольору, добре розчинні у воді. Молекулярна маса 60,05. Додається на стадії розкладання апатиту азотною кислотою для зменшення виділення оксидів азоту в газову фазу [3].

Нітроамофоска - висококонцентроване трикомпонентне добриво (N: $P_2O_5$: $K_2O$) = 1: 1: 1. Реакція в ґрунтових водах - слабокисла. Основні фізико-хімічні властивості: насипна щільність – 1,0-1,05 т / м3; температура плавлення 170 - 190$^0$С [3].

Продукт повинен відповідати таким вимогам:

Масова частка поживних речовин в сумі понад 49%; N більше 16%, $P_2O_5$ більше 16%, в тому числі водорозчинний $P_2O_5$ більше 13,5%, $K_2O$ понад 16%, $H_2O$ менше 0,6%. Міцність гранул на розчавлювання більше 20 кгс/см$^2$. Грансостав – від 1 до 4 мм більше 94 % [3].

Нітроамофоска гігроскопічна, для зменшення злежування її обробляють 45% розчином диспергатора НФ [3].

Метою даного проекту є комп'ютерний розрахунок схеми виробництва нітроамофоски, випарюванням нітрату амонію [3].

## 1 Технологічна схема отримання нітроамофоски

Виробництво нітроамофоски здійснюють по ретурній схемі з гранулювання в апараті АГ. Врівноважуючий азот у вигляді плаву аміачної селітри вводять на стадії гранулювання [4].

В основі процесу отримання нітроамофоски за цим методом лежать реакції:

1. Нейтралізації фосфорної й азотної кислот аміаком з утворенням відповідно моноамонійфосфата й нітрату амонію:

$$H_3PO_4 + NH_3 = NH_4H_2PO_4,$$

$$HNO_3 + NH_3 = NH_4NO_3;$$

2. Обмінна реакція хлориду калію, який вводиться у систему і розплавлюється, з нітратом амонію:

$$NH_4NO_3 + KCl = KNO_3 + NH_4Cl.$$

Таким чином, виробництво нітроамофоски складається з наступних основних стадій:

1) отримання амофосної пульпи;
2) отримання плаву аміачної селітри;
3) гранулювання і сушка.

### 1.1 Опис технологічної схеми

Упарену екстракційну фосфорну кислоту (47 – 52 % $P_2O_5$) нейтралізують газоподібним аміаком в апараті 1 протягом 1,5 – 2 годин при температурі 110 – 120ºС [4].

Нейтралізацію азотної кислоти аміаком проводять в апараті ВТН 2 при 110 - 135ºС. Отриманий розчин аміачної селітри після донейтралізації упарюють в випарному апараті 3 плівкового типу до вмісту 95 – 97 % $NH_4NO_3$ і направляється в збірник 4 [4].

Амонійна пульпа з нейтралізатора 1, плав нітрату амонію зі збірника 4, хлорид кальцію, що вводиться, газоподібний аміак і ретур після гуркоту 9 подаються в амонізатор-гранулятор 5. Кількість ретура становить до 10 т на 1 т готового продукту. В апараті АГ завершується процес нейтралізації й відбувається гранулювання й підсушування гранул за рахунок теплоти хімічної реакції. З апарата АГ гранули нітроамофоски надходять у барабанну сушарку 6, що обігрівається топковими газами з топки 7, і потім на гурхоти 8 і 9, на яких розділяються на три фракції. Велика фракція після здрібнювання в дробарці 10 змішується із дрібною фракцією, що пройшла гуркіт 9, і у вигляді ретура вертається в апарат АГ. Товарна фракція нітроамофоски, що пройшла гуркіт 8 з розмірами гранул 1 – 4 мм, направляється в холодильник киплячого шару 11 і потім на склад. Вихідні з апарата АГ гази надходять на абсорбцію в скрубер, зрошуваний водою [4].

Технологічна схема виробництва нітроамофоски представлена на рис. 1.1:

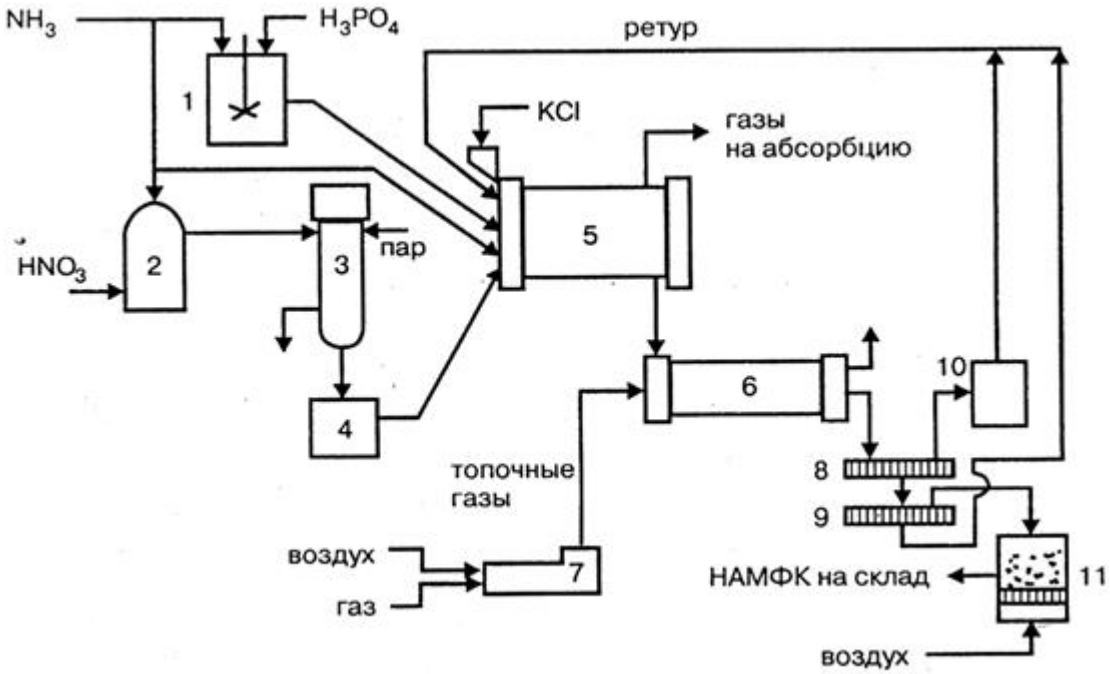



Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва нітроамофоски:
1 – нейтралізатор фосфорної кислоти; 2 – апарат ВТН; 3 – випарний апарат; 4 – збірник плаву; 5 – апарат АГ; 6 – барабанна сушарка; 7 – топка; 8, 9 – гуркіти; 10 – дробарка; 11 – холодильник киплячого шару.

## 2 Розрахунок матеріальних балансів процесу виробництва нітроамофоски

### 2.1 Розрахунок матеріального балансу в середовищі ChemCad

У даному розділі виконується комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу випарювання нітрату амонію, визначення загальних та покомпонентних витрат, складів потоків [5].

З метою визначення основних технологічних показників застосовується комп'ютерне моделювання технологічної схеми в ChemCad. В розрахунок включені основні технологічні процеси виробництва [5].

Розроблена схема наведена на рисунку 2.1. Результати розрахунку матеріального балансу схеми наведено в таблицях 2.2 – 2.6 [5].

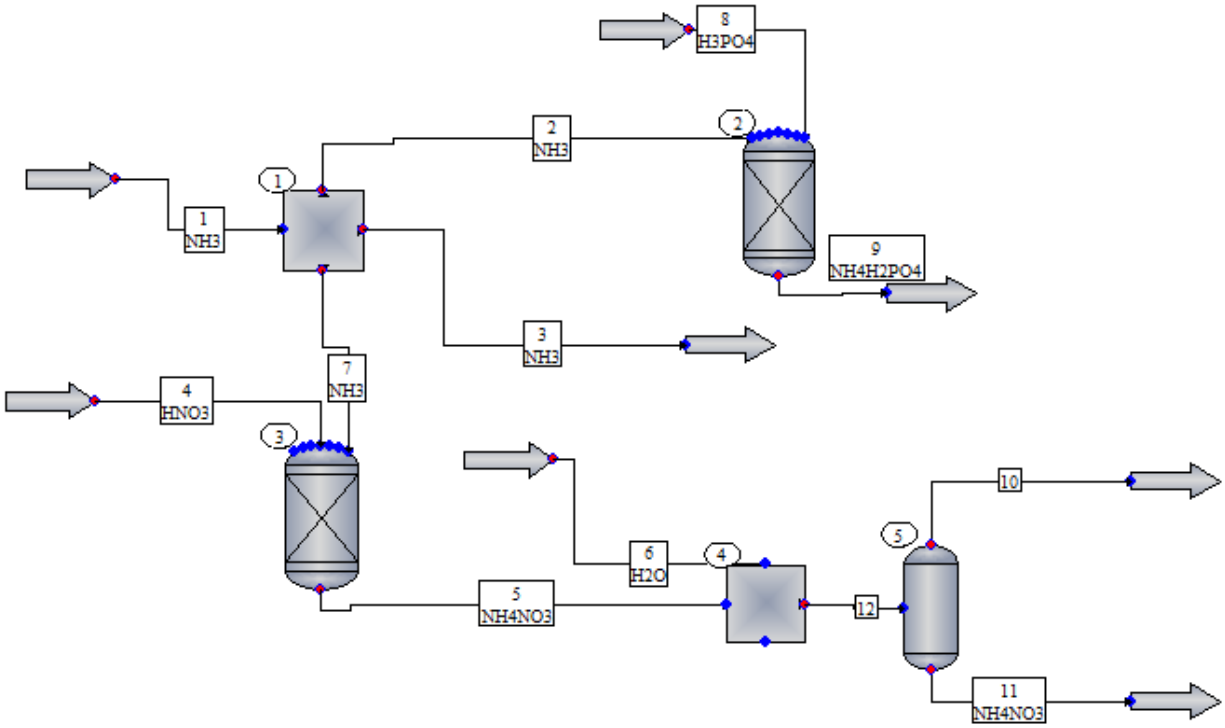



Рисунок 2.1 - Схема випарювання нітрату амонію в ChemCad 7.1.2.

Під час розробки схеми було обрано відповідні апарати, які найбільш точно відображають властивості реальних апаратів.

Список використаних блоків та пов’язаних матеріальних потоків наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Список використаних апаратів при розробці схеми

| Назва блоку | Апарат | Зобр. моделі | Вхідні потоки | Вихідні потоки |
|---|---|---|---|---|
| Divider (1) | Дільник | | $NH_3$ | $NH_3$ |
| Stoichiometric Reactor (2) | Стехіометричний реактор | | $NH_3$, $H_3PO_4$, | $NH_4H_2PO_4$ |
| Stoichiometric Reactor (3) | Стехіометричний реактор | | $HNO_3$, $NH_3$ | $NH_4NO_3$ |
| Mixer (4) | Змішувач | | $NH_4NO_3$, $H_2O$ | $NH_4NO_3 \cdot H_2O$ |
| Component separator (5) | Сепаратор | | $NH_4NO_3 \cdot H_2O$ | $NH_4NO_3$, $H_2O$ |

Опис блоків бібліотеки моделей:

- Stoichiometric reactor – стехіометричний реактор (нейтралізатор). Використовується для нейтралізації фосфорної кислоти аміаком.
- Divider – дільник, розділює потік $NH_3$ на три різні потоки.
- Stoichiometric reactor – стехіометричний реактор (нейтралізатор). Використовується для нейтралізації азотної кислоти аміаком.
- Mixer – змішувач, змішує декілька потоків між собою. На виході маємо результуючий потік.

- Component separator - сепаратор (випарник). Використовується для отримання речовини заданої концентрації.

Таблиця 2.2 –Матеріальний баланс по вхідним потокам (кг/с)

| № потоку | $NH_3$ | $HNO_3$ | $H_3PO_4$ | $H_2O$ | Сума |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,05 | 0 | 0 | 0 | **2,05** |
| 4 | 0 | 1,35 | 0 | 0 | **1,35** |
| 8 | 0 | 0 | 3,41 | 0 | **3,41** |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 5,9 | **5,9** |
| Сума | **2,05** | **1,35** | **3,41** | **5,9** | **12,71** |

Таблиця 2.3 – Загальний матеріальний баланс по вихідним потокам (кг/с)

| Компонент потоку | $NH_4H_2PO_4$ | $NH_3$ | $H_2O$ | $NH_4NO_3$ | Сума |
|---|---|---|---|---|---|
| Витрата | 4,00264 | 1,09378 | 6,157299 | 1,457625 | **12,709875** |

Порівнюючи суми вхідного і вихідного можна зробити висновок що похибка складає менше 1%.

$$\text{Різниця вх. і вих. потоків} = \frac{12{,}71 - 12{,}709875}{12{,}71} \cdot 100 = 0{,}00098\% \quad (2.1)$$

Таблиця 2.4 – Матеріальний баланс апарата 2 (кг/с)

| Матеріальний баланс реактора. | | |
|---|---|---|
| Компоненти | Вхід (кг/с) | Вихід (кг/с) |
| $CH_3$ | 0,592677 | 0,000037 |
| $H_3PO_4$ | 3,41 | 0 |
| $NH_4H_2PO_4$ | 0 | 4,00264 |
| $\sum$ | 4,002677 | 4,002677 |

Таблиця 2.5 – Матеріальний баланс апарата 3 (кг/с)

| Матеріальний баланс реактора. | | |
|---|---|---|
| Компоненти | Вхід (кг/с) | Вихід (кг/с) |
| $NH_3$ | 0,36495 | 0,00007 |
| $HNO_3$ | 1,35 | 0 |
| $NH_4NO_3$ | 0 | 1,71485 |
| ∑ | 1,71495 | 1,71492 |

Таблиця 2.6 – Матеріальний баланс сепаратора (кг/с)

| Матеріальний баланс сепаратору. | | | |
|---|---|---|---|
| Компоненти | Вхід (кг/с) | Вихід (кг/с) | |
| | | Потік 1 | Потік 2 |
| $NH_3$ | 0,00007 | 0,00007 | 0 |
| $H_2O$ | 5,9 | 5,9 | 0 |
| $NH_4NO_3$ | 1,71485 | 0,25723 | 1,45763 |
| ∑ | 7,61492 | 6,15729 | 1,45763 |

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що матеріальний баланс процесу випарювання в спеціалізованому середовищі ChemCad 7.1.2 розрахований вірно. Результати розрахунків приведені у додатку А.

## 3 Комп’ютерний розрахунок випарного апарату

Випарювання — технологічний процес концентрування розчинів шляхом виділення розчинника і перетворення його на пару. Реакцію випарювання нітрату амонію проводять при температурі 166 °С [6].

Випарюванню піддають розчини твердих речовин (водні розчини лугів, солей та ін.), високо киплячі рідини, що володіють при температурі випаровування дуже малим тиском пари, деякі мінеральні та органічні кислоти, багатоатомні спирти. Випарювання іноді застосовують також для виділення розчинника в чистому вигляді: при опрісненні морської води випарюванням утворену з неї водяну пару конденсують і воду використовують для питних або технічних цілей [6].

Процеси випаровування проводять під вакуумом, при підвищеному і атмосферному тиску. Вибір тиску пов'язаний з властивостями випарює розчину і можливістю використання тепла вторинної пари [7].

Випарювання під вакуумом має певні переваги перед виправними при атмосферному тиску, незважаючи на те що теплота випаровування розчину дещо зростає з пониженням тиску і відповідно збільшується витрата пари на випарювання 1 кг розчинника (води). Застосування вакууму дає можливість проводити процес при більш низьких температурах, що важливо в разі концентрування розчинів речовин, схильних до розкладання при підвищених температурах. Також дає можливість використовувати в якості гріючого агента, крім первинного пара вторинний пар самої випарної установки, що знижує витрату первинного гріючої пари. Разом з тим при застосуванні вакууму здорожує випарна установка, оскільки потрібні додаткові витрати на пристрої для створення вакууму (конденсатори, пастки, вакуум-насоси), а так само збільшуються експлуатаційні витрати [7].

При випаровуванні під тиском вище атмосферного також можна використовувати вторинний пар, як для випарювання, так і для інших потреб не пов'язаних з процесом випарювання. Такий спосіб випарювання дозволяє

краще використовувати тепло, ніж при випаровуванні під вакуумом. Цей спосіб застосовується лише для випарювання термічно стійких речовин. Крім того, необхідні гріють агенти з більш високою температурою [7].

При випаровуванні під атмосферним тиском вторинний пар не використовується і зазвичай видаляється в атмосферу. Такий спосіб випарювання є найбільш простим, але найменш економічним [7].

Процес випарювання проводиться в випарних апаратах. За принципом роботи випарні апарати поділяються на періодичної і безперервної дії [7].

Періодичне випарювання застосовується при малій продуктивності установки або для отримання високих концентрацій. При цьому розчин який подається в апарат випаровується до необхідної концентрації, зливається і апарат завантажується новою порцією вихідного розчину [7].

В установках безперервної дії вихідний розчин безперервно подається в апарат, а упарений розчин безперервно виводиться з нього [7].

В даному випадку використовується плівковий випарний апарат. У плівкових випарних апаратах розчин рухається вздовж теплообмінної поверхні у вигляді тонкої плівки, внаслідок чого досягаються високі коефіцієнти тепловіддачі, а також відбувається випарювання розчину до високої концентрації за один прохід. Переважно використовують випарні апарати з висхідною та спадаючою плівкою із співвісною або винесеною гріючою камерою [7].

Плівкові апарати використовують при концентруванні розчинів, чутливих до високих температур. За необхідного часу перебування у зоні високих температур розчин не встигає перегріватися і його якість не знижується. Принциповою відмінністю прямоточних (плівкових) апаратів від апаратів з природною циркуляцією полягає у тому, що випарювання в них відбувається при однократному проходженні випарюваного розчину по трубах нагрівальної камери. Отже, випарювання здійснюється без циркуляції розчину. Крім того, розчин випарюється, переміщуючись (по більшій частині висоти кип’ятильних труб) у вигляді тонкої плівки по внутрішній поверхні

труб. У центральній частині труб вздовж їх осі рухається вторинна пара. Це приводить до різкого зниження температурних втрат, зумовлених гідростатичною депресією [8].

Розрізняють апарати з висхідною та падаючою (нисхідною) плівкою. Апарат з висхідною плівкою (рис. 3.1) складається з нагрівальної камери *1*, яка представляє собою пучок труб невеликого діаметра (15-25 *мм*) завдовжки 5-9 *м*, і сепаратора *2*. Розчин на випарювання надходить знизу у труби нагрівальної камери, міжтрубний простір якої нагрівається гріючою парою. На рівні близько 20-25% висоти труб починається інтенсивне кипіння. Бульбашки вторинної пари зливаються і пара, швидко піднімаючись по трубах, захоплює з собою розчин. При цьому рідина переміщується у вигляді плівки, що ніби повзе вгору по внутрішній поверхні труб, і випарювання відбувається у тонкому шарі [8].

Вторинна пара, що виходить з труб, звільняється від крапель рідини за допомогою відбійника *3* та відцентрового бризковловлювача *4* [8].

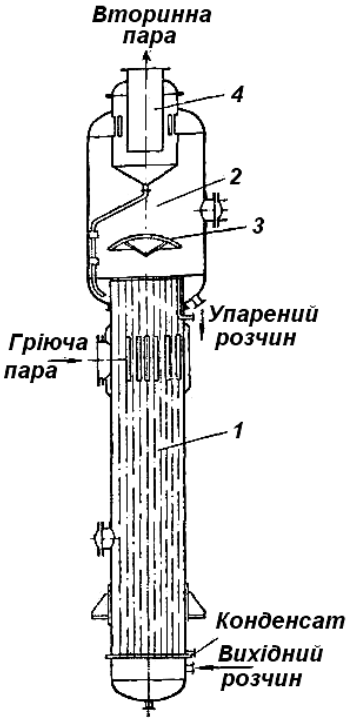



Рисунок 3.1 – Випарний прямоточний апарат з висхідною плівкою.

В апаратах з падаючою плівкою вихідний розчин надходить згори у нагрівальну камеру, а концентрований розчин виводиться з нижньої частини сепаратора, розташованого нижче нагрівальної камери [8].

Плівкові апарати виготовляють з площею поверхні теплопередачі від 63 до 2500 $м^2$ з діаметром труб 36 і 57 *мм*. Надлишковий тиск у нагрівальній камері від 0.3 до 1.0 *МПа*, а вакуум у сепараторі 93.0 *кПа* [8].

Прямоточні апарати чутливі до зміни режиму роботи і потребують для ефективного випарювання підтримання певного оптимального рівня розчину у кип'ятильних трубах. При порушенні режиму роботи апарат можна перевести на роботу з циркуляцією розчину як у апаратах з примусовою циркуляцією. Область застосування плівкових апаратів – випарювання малов'язких розчинів, у тому числі таких, що піняться та чутливі до високих температур [8].

Для того, щоб запобігти відкладанню накипу в трубах, особливо при випарюванні розчинів, що кристалізуються, необхідні швидкості циркуляції не менші за 2-2.5 *м/с*. В апаратах з примусовою циркуляцією її швидкість визначається продуктивністю циркуляційного насоса і не залежить від висоти рівня рідини в трубах, а також від інтенсивності пароутворення. Тому в апаратах з примусовою циркуляцією випарювання ефективно відбувається за малих корисних різниць температур, що не перевищують 3-5 °С, і за значних в'язкостей розчинів [8].

Апарат з примусовою циркуляцією (рис. 3.2) має виносну нагрівальну камеру *1*, сепаратор *2* і необігрівану циркуляційну трубу *3*, в яку подається вихідний розчин. Циркуляція розчину здійснюється насосом *4* [8].

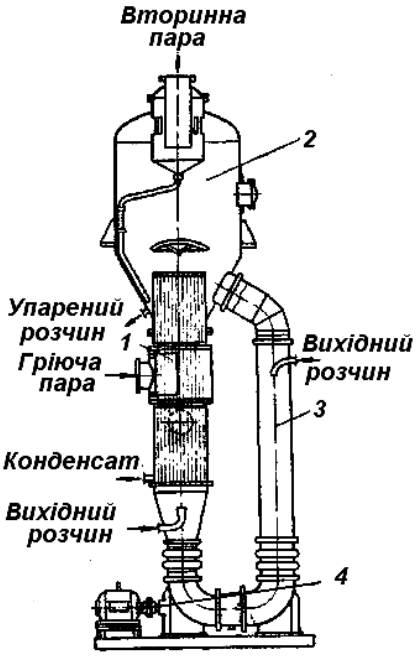



Рисунок 3.2 – Випарний апарат з примусовою циркуляцією

За великої швидкості руху випарюваного розчину його кипіння відбувається на короткій ділянці перед виходом з кип’ятильних труб. Отже, зона кипіння виявляється переміщеною у верхню частину нагрівальної камери. На більшій частині довжини труб рідина лише дещо перегрівається, оскільки тиск внизу труби вищий за тиск поблизу її верхнього краю на величину гідростатичного тиску стовпа рідини та гідравлічного опору труби [8].

Внаслідок високого рівня розчину у кип’ятильних трубах значна частина всього циркуляційного контуру заповнена рідиною, а паровміст суміші рідини і вторинної пари невеликий. Тому циркуляційний насос повинен перекачувати великі об’єми рідини за помірної витрати електроенергії, що витрачається переважно на подолання гідравлічного опору труб. Таким вимогам задовільняють пропелерні насоси, які зазвичай використовуються в апаратах із примусовою циркуляцією. Швидкість її обмежена збільшенням гідравлічного опору і відповідно витратою енергії на циркуляцію. Тому бажано вибирати оптимальну швидкість циркуляції, яку встановлюють на основі техніко-економічних розрахунків [8].

Випарні апарати з примусовою циркуляцією мають площу поверхні теплопередачі від 25 до 1200 $м^2$, довжину кип'ятильних труб від 4 до 9 *м* залежно від їх діаметрів, які складають 25, 38 і 57 *мм*. Надлишковий тиск у нагрівальній камері від 0.3 до 1.0 *МПа*, а вакуум у сепараторі 93.0 *кПа*. Співвідношення площ перерізів циркуляційної труби та нагрівальної камери не менше 0.9. Основна перевага таких апаратів – високі коефіцієнти теплопередачі (у 3-4 рази вищі, ніж у апаратів з природною циркуляцією), а, отже, і значно менші поверхні теплопередачі під час випарювання розчинів. Основний недолік – витрати енергії на роботу насоса [8].

## 3.1 Алгоритм розрахунку основних параметрів

Вихідними даними для розрахунку є:

1. Початкова концентрація нітрату амонію ($x_0$) – 80 %;
2. Кінцева концентрація нітрату амонію ($x_1$) – 95%;
3. Температура нітрату амонію при вході в апарат ($t_п$) – 120 ºС;
4. Тиск в паровій камері апарату (Р) – $4{,}76 \cdot 10^5$ Па;
5. Витрата розчину нітрату амонію на вході в апарат ($G_0$) – 1,715 кг/с.

Основні формули для розрахунку випарного апарату.

Розрахунок матеріального балансу процесу випарювання:

Масова витрата кінцевого розчину:

$$G_1 = G_0 \cdot \frac{x_0}{x_1}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \tag{3.1}$$

Масова витрата випарюваної води:

$$W = G_0 - G_1, \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \tag{3.2}$$

Розрахунок фізичних властивостей речовин.

Температура в паровій камері апарату:

$$t_1 = \frac{1669.6}{10.088 - \lg P + \lg(-0.171 \cdot x_1^2 - 0.445 \cdot x_1 + 1)} - 228.4, °C. \tag{3.3}$$

Температурна депресія:

$$\Delta t_{\text{депр.}} = t_1 - \frac{1669.6}{10.088 - \log P + \log(1)} - 228.4, °C. \tag{3.4}$$

Температура на виході з апарату:

$$t_{\text{к}} = t_1 + \Delta t_{\text{депр.}}, °C \tag{3.5}$$

Густина розчину кінцевої концентрації:

$$\rho_{\text{р.к}} = 10^{\lg\left(1000 - 0.062 \cdot t_{\text{к}} - 0.00355 \cdot t_{\text{к}}^2\right) + \left(0.422 + 4.24 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{к}} - 3.87 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{к}}^2\right) \cdot x_1}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \tag{3.6}$$

Густина води при температурі кипіння розчину:

$$\rho_{\text{в.к}} = 10^{\lg\left(1000 - 0.062 \cdot t_{\text{к}} - 0.00355 \cdot t_{\text{к}}^2\right)}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \tag{3.7}$$

Приймаємо робочу поверхню труб в апараті $H_{тр}$.

Оптимальна висота рівня розчину при природній циркуляції:

$$H_{\text{опт}} = \left[(0.26 + 0.0014 \cdot (\rho_{\text{р.к}} - \rho_{\text{в.к}})\right] \cdot H_{\text{тр}}, \text{м}. \quad (3.8)$$

Тиск в трубах апарату:

$$P_{\text{ср}} = P + 0.5 \cdot \rho_{\text{р.к}} \cdot g \cdot H_{\text{опт}}, \text{Па}. \quad (3.9)$$

Температура кипіння розчину в трубках:

$$t_{\text{кип.ср}} = \frac{1669.6}{10.088 - \lg P_{\text{ср}} + \lg(-0.171 \cdot x_1^2 - 0.445 \cdot x_1 + 1)} - 228.4, °C. \quad (3.10)$$

Депресія від гідростатичного ефекту:

$$\Delta t_{\text{г.еф}} = t_{\text{кип.ср}} - t_1, °C. \quad (3.11)$$

Приймаємо температуру гідравлічної депресії $\Delta t_{\text{г.с}}$.

Теплоємність початкового розчину:

$$\text{c}_{\text{п}} = 4223.6 + 2.476 \cdot t_{\text{п}} \cdot \lg\left(\frac{t_{\text{п}}}{100}\right) + (-4187.41 + 4760.1 \cdot x_0 + 6.66 \cdot t_{\text{п}} - 0.00825 \cdot t_{\text{п}}^2) \cdot x_0, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °C}. \quad (3.12)$$

Теплоємність кінцевого розчину:

$$\text{c}_{\text{к}} = 4223.6 + 2.476 \cdot t_{\text{к}} \cdot \lg\left(\frac{t_{\text{к}}}{100}\right) + (-4187.41 + 4760.1 \cdot x_1 + 6.66 \cdot t_{\text{к}} - 0.00825 \cdot t_{\text{к}}^2) \cdot x_1, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °C}. \quad (3.13)$$

Температура при вході в аппарат:

$$t_{\text{п}} = \left[\frac{1669.6}{10.088 - \lg(P + \rho_{\text{р.к}} \cdot g \cdot H_{\text{опт}}) + \lg(-0.171 \cdot x_0^2 - 0.445 \cdot x_0 + 1)} - 228.4\right] - 15, °C. \quad (3.14)$$

Витрата теплоти на нагрівання розчину (теплота самовипаровування):

$$Q_{\text{нагр}} = G_0 \cdot \text{c}_{\text{п}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{п}}), \text{Вт}. \quad (3.15)$$

Задаємо питому ентальпію вторинної пари на виході з апарату при $t_1$, $i_{\text{вт}}$.

Теплоємність при $t_{\text{к}}$:

$$\text{c}_{\text{в}} = 4223.6 + 2.476 \cdot t_{\text{к}} \cdot \lg\left(\frac{t_{\text{к}}}{100}\right), \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °C}. \quad (3.16)$$

Витрата теплоти на випаровування:

$$Q_{\text{вип}} = W \cdot (i_{\text{вт}} - \text{с}_{\text{в}} \cdot t_{\text{к}}), \text{Вт}. \quad (3.17)$$

Витрата теплоти на втрати в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{втр}} = 5\% \cdot \left(Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}}\right), \text{Вт}. \quad (3.18)$$

Витрата теплоти на випаровування:

$$Q = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{втр}}, \text{Вт}. \quad (3.19)$$

Сума температурних втрат:

$$\Delta t_{\text{втр}} = \Delta t_{\text{г.с}} + \Delta t_{\text{депр}} + \Delta t_{\text{г.еф}}, °C. \quad (3.20)$$

Приймемо температуру гріючої пари:

$$t_{\text{г.п}} = t_{\text{кип.сер}} + 15, °C. \quad (3.21)$$

Приймемо теплоту конденсації гріючої пари, r.

При вологості 5% витрата гріючої пари:

$$G_{\text{г.п}} = \frac{Q_{\text{вип}}}{0.95 \cdot r}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (3.22)$$

Загальна різниця температур:

$$\Delta t_{\text{заг}} = t_{\text{г.п}} - t_1 + \Delta t_{\text{г.с}}, °C. \quad (3.23)$$

Приймемо в першому наближені температуру зовнішньої поверхні труб:

$$t_{\text{ст.п}} = t_{\text{г.п}} - 5, °C. \quad (3.24)$$

Густина розчину в трубах при середній температурі:

$$\rho_{\text{р.сер}} = 10^{\lg\left(1000 - 0.062 \cdot t_{\text{кип.сер}} - 0.00355 \cdot t_{\text{кип.сер}}{}^2\right) + \left(0.422 + 4.24 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{кип.сер}} - 3.87 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{кип.сер}}{}^2\right) \cdot x_1}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (3.25)$$

В’язкість розчину в трубах при середній температурі:

$$\mu_{\text{р.сер}} = 10^{\lg\left(0.598 \cdot (43.252 + t_{\text{кип.сер}})^{-1.542}\right) + \left(3.108 - 1.34 \cdot 10^{-2} \cdot t_{\text{кип.сер}} - 2.91 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{кип.сер}}{}^2\right) \cdot x_1}, \text{Па} \cdot \text{с}. \quad (3.26)$$

Теплопровідність розчину в трубах при середній температурі:

$$\lambda_{\text{р.сер}} = \left(0.55 + 0.0024 \cdot t_{\text{кип.сер}} - 0.0000118 \cdot t_{\text{кип.сер}}{}^2\right) \cdot (1 - 0.143 \cdot x_1), \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot °C}. \quad (3.27)$$

Задаємо густину пари при $t_{\text{кип.сер}}$, $\rho_{\text{п.сер}}$.

Задаємо коефіцієнт поверхневого натягу, σ.

Значення допоміжної функції:

$$b = 0.075 + 0.75 \cdot (\frac{\rho_{\text{п.сер}}}{\rho_{\text{р.сер}} - \rho_{\text{п.сер}}})^{\frac{2}{3}}. \quad (3.28)$$

Задаємо коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб, $\lambda_{\text{ст}}$.

Задаємо товщину стінки труби, $\delta_{\text{ст}}$.

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{\text{сер}} = t_{\text{конд}} - t_{\text{кип.сер}}, °C. \quad (3.29)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючого пару до поверхні труб:

$$\alpha_{\text{конд}} = \frac{2.04 \cdot 7460}{(H_{\text{опт}} \cdot \Delta t_{\text{конд}})^{0.25}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (3.30)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труб до киплячого розчину:

$$\alpha_{\text{кип}} = b \cdot (\frac{\lambda_{\text{р.сер}}^2 \cdot \rho_{\text{р.сер}}}{\mu_{\text{р.сер}} \cdot \sigma \cdot t_{\text{кип.сер}}})^{\frac{1}{3}} \cdot \alpha_{\text{конд}}^{\frac{2}{3}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (3.31)$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$\text{К} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{конд}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{кип}}} + \frac{1}{1785}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (3.32)$$

Теплопередача:

$$\text{q} = K \cdot \Delta t_{\text{сер}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (3.33)$$

Різниця температури конденсації:

$$\Delta t_{\text{конд}} = \frac{q}{\alpha_{\text{конд}}}, °C. \quad (3.34)$$

Ітераційна процедура послідовного наближення:

Температура стінки:

$$t_{\text{ст.i}} = t_{\text{конд}} - \Delta t_{\text{конд.i}} \quad (3.35)$$

Коефіцієнт тепловіддачі конденсації:

$$\alpha_{\text{конд.i}} = \alpha_{\text{конд}} \cdot \Delta t_{\text{конд.i}} \quad (3.36)$$

Коефіцієнт теплопередачі конденсації:

$$q_{\text{конд.i}} = \alpha_{\text{конд.i}} \cdot \Delta t_{\text{конд.i}} \quad (3.37)$$

Різниця температури стінки:

$$\Delta t_{\text{ст.i}} = \frac{q_{\text{конд.i}}}{\frac{1}{\sum r_{\text{ст}}}} \tag{3.38}$$

Температура другої стінки:

$$t_{\text{ст2.i}} = t_{\text{ст.i}} - \Delta t_{\text{ст.i}} \tag{3.39}$$

Різниця температури кипіння і стінки:

$$\Delta t_{\text{кип.i}} = t_{\text{ст2.i}} - t_{\text{кип.сер}} \tag{3.40}$$

Коефіцієнт тепловіддачі кипіння:

$$\alpha_{\text{кип.i}} = \alpha_{\text{кип}} \cdot q_{\text{конд.i}}^{\frac{2}{3}} \tag{3.41}$$

Коефіцієнт теплопередачі кипіння:

$$q_{\text{кип.i}} = \alpha_{\text{кип.i}} \cdot \Delta t_{\text{кип.i}} \tag{3.42}$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_{\text{i}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{конд.i}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{кип.i}}} + \frac{1}{\sum r_{\text{ст}}}} \tag{3.43}$$

Теплопередача:

$$q_{\text{i}} = K_{\text{i}} \cdot \Delta t_{\text{сер}} \tag{3.44}$$

Різниця температури конденсації:

$$\Delta t_{\text{конд.i}} = \frac{q_{\text{i}}}{\alpha_{\text{конд.i}}} \tag{3.45}$$

Похибка значення теплопередачі:

$$\varepsilon_{\text{i}} = \frac{q_{\text{кип.i}} - q_{\text{конд.i}}}{q_{\text{конд.i}}} \cdot 100 \tag{3.46}$$

Наближення проводять до тих пір, доки похибка не буде < 5%.

Площа поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}}, \text{м.} \tag{3.47}$$

Блок-схема алгоритму розрахунку основних параметрів наведена на рис.3.3:

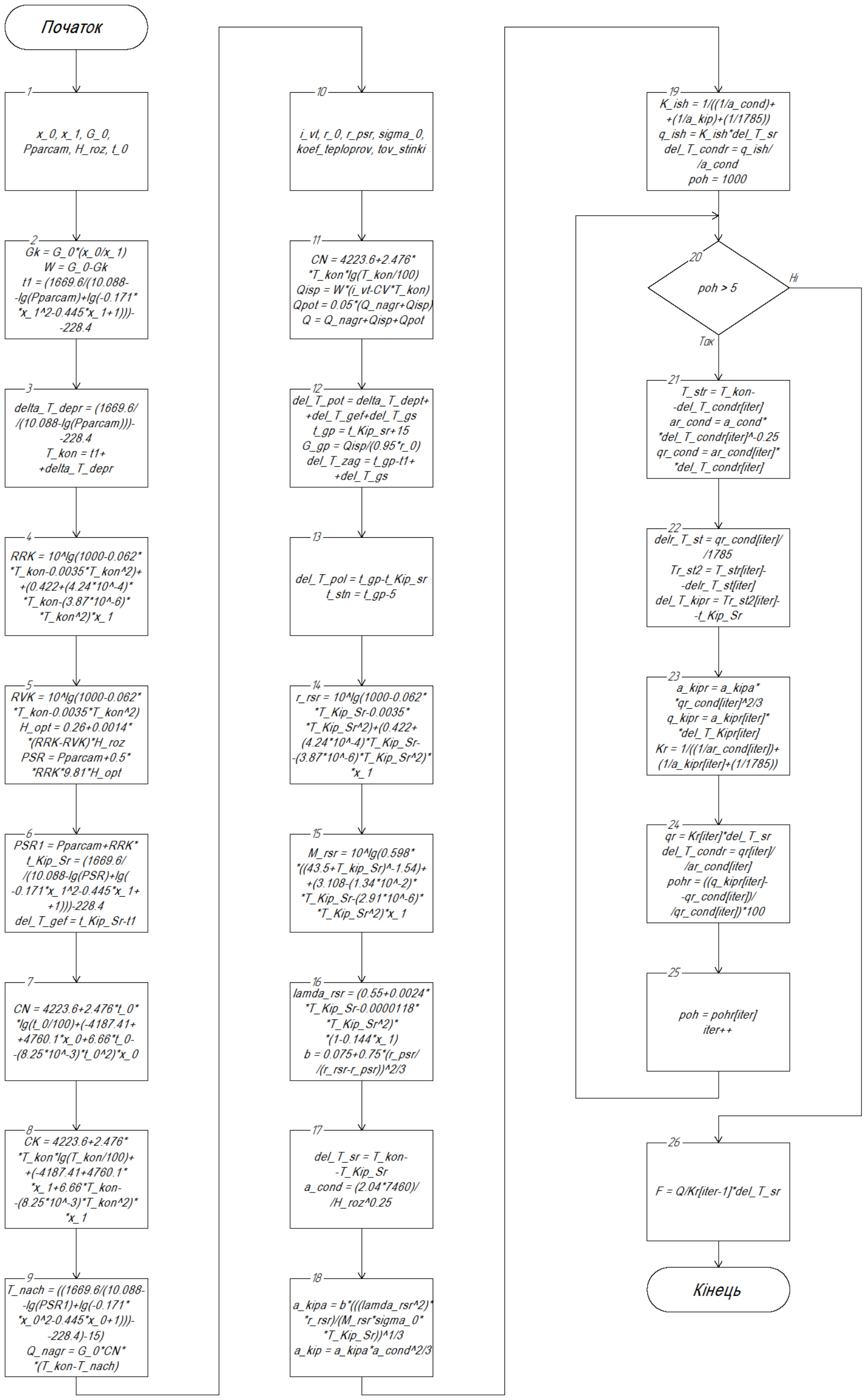



Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму розрахунку основних параметрів

### 3.2 Технічне завдання на розробку обчислювального модуля

Обчислювальний модуль призначений для комп'ютерного моделювання процесу випарювання нітрату амонію в плівковому випарнику.

Вимоги до програмного модулю:

1. Наявність полів для введення даних користувачем;
2. Виведення результатів розрахунку в окрему форму;
3. Можливість збереження та виведення звіту за бажанням користувача;
4. Можливість очистки старих даних для введення нових;
5. Можливість формування та збереження звіту за бажанням користувача;
6. Наявність довідки;
7. Наявність кнопок, панелі інструментів та меню.

Середовище для реалізації програмного модуля MS Visual Studio 2017.

### 3.3 Програмний модуль для процесу випарювання

Обчислювальний модуль реалізований на мові C# в середовищі Visual Studio 2017. Він призначений для спрощення розрахунків параметрів та розмірів випарного апарату. В обчислювальному модулі міститься багатоітераційний процес послідовного наближення.

Обчислювальний модуль призначений для розрахунку:

1. Матеріального балансу процесу випарювання;
2. Температури і тиску в вузлових точках;
3. Температури конденсації і тиску вторинного пару;
4. Температури і тиску в випарному апараті;
5. Теплового балансу випарювання;
6. Витрати теплоти на випарювання;
7. Витрати гріючої пари;
8. Основних розмірів випарного апарату.

Структура обчислювального модуля:

- Файли форм – Form1.h – Form4.h
- Файл проекту – Diplom.

Основні елементи обчислювального модуля наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні елементи обчислювального модуля

| Елемент | Назва | Призначення |
|---|---|---|
| Форма (Form) | Form1.h | Головна форма, початок роботи програми |
| Кнопки Button | zapusk_rozrah<br>zapusk_rozrah1<br>run_rozr<br>Ma_znach<br>Clear_TextBox<br>About_Programm<br>Show_blockshema<br>Exit<br>Show_Form2 | Кнопки для переходу на інші форми, запуску програми, введення даних, очищення даних, зберігання даних, виклику довідки, виходу з програми, запуску розрахунку, блок-схема прокрами. |
| Форма (Form) | Form2.h | Проміжні результати розрахунку |
| Форма (Form) | MyForm3.h | Довідка для користувача |
| Форма (Form) | MyForm4.h | Блок-схема програми |
| Рисунок PictureBox | picturebox1 – picturebox12 | Представлення графічних матеріалів (технологічна схема, схема в ChemCAD, молекула, блок-схема, кнопки) |

Продовження таблиці 3.1

| | | |
|---|---|---|
| Вкладки tabControl1 | tabPage1<br>tabPage2<br>tabPage3<br>tabPage4<br>tabPage5<br>tabPage6 | Технологічна схема,<br>Загальна інформація,<br>Схема в ChemCAD,<br>Розрахункова частина,<br>Результати розрахунку,<br>ДСТУ. |
| Таблиця dataGridView | dataGridView1 | Представлення результатів розрахунку у вигляді таблиці |
| Заголовки Label | label | Текстова мітка |
| Текстові поля TextBox | textBox | Введення вхідних даних та виведення розрахованих значень параметрів процесу випарювання випарного апарату |
| Текстові поля RichTextBox | richTextBox1<br>richTextBox2<br>richTextBox3<br>richTextBox4<br>richTextBox5<br>richTextBox6 | Виведення інформації про технологічну схему, загальна інформація, дані для введення і виведення, результати розрахунку, проміжні результати, довідка |

Розроблений програмний модуль містить в собі наступні обробники подій:

Таблиця 3.2 – Обробники подій обчислювального модуля

| Назва процедури | Призначення |
|---|---|
| Run_rozr_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для запуску розрахунку програми |

Продовження таблиці 3.2

| | |
|---|---|
| Save_to_File_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для збереження рохрахунків в файл |
| Open_Our_File_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для відкривання збереженого файлу розрахунків |
| About_Programm_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для відкривання довідки |
| Exit_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для виходу з програми |
| play_button_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для запуску розрахунків програми кнопкою |
| Show_Form2_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для відкривання форми з проміжними результатами розрахунку |
| Show_blocshema_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для відкривання форми з блок-схемою |
| Clear_TextBox_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для очищення введених даних |
| info_button_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для запуску довідки кнопкою |
| write_button_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для автоматичного введення даних кнопкою |
| delete_button_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для видалення обрахованих параметрів кнопкою |
| save_button_Click | Обробляє натиск користувачем на кнопку для збереження даних в файл кнопкою |

Програмний модуль можна використовувати для розрахунку випарної установки плівкового типу.

Код розробленого програмного модуля приведений в Додатку В.

Вигляд головного вікна програми зображено на рис. 3.4:

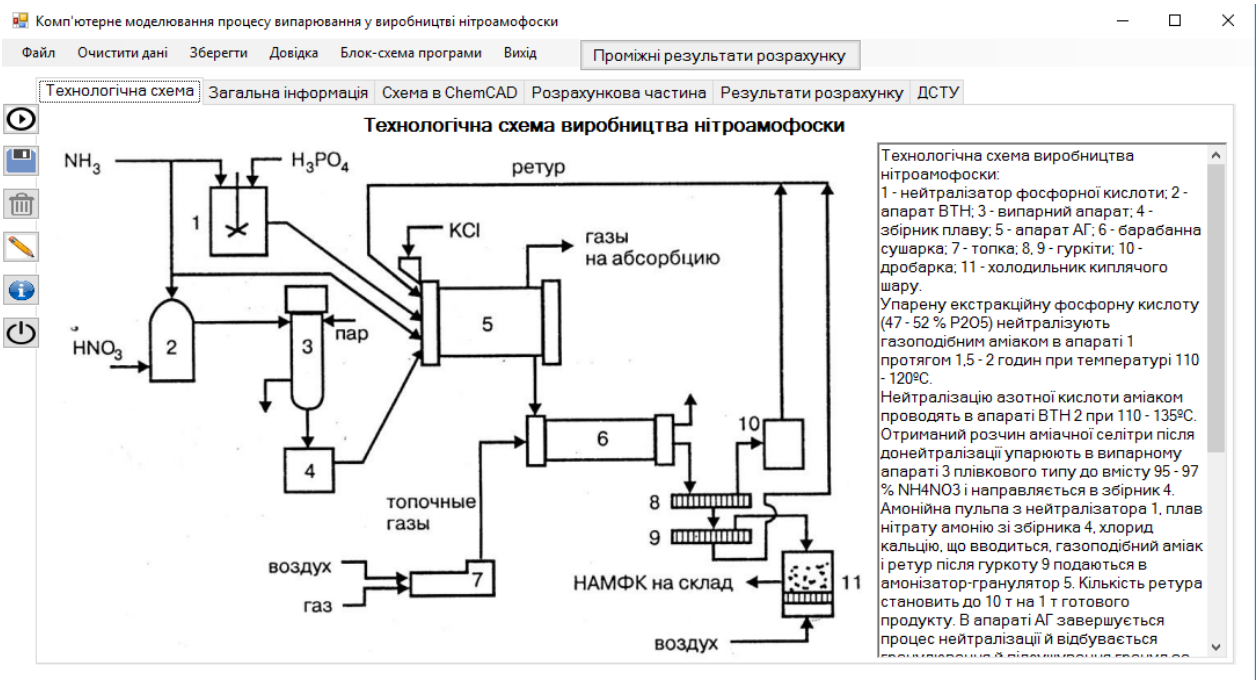



Рисунок 3.4 – Головне вікно програми

Вигляд вкладки «Загальна інформація» зображений на рис. 3.5:

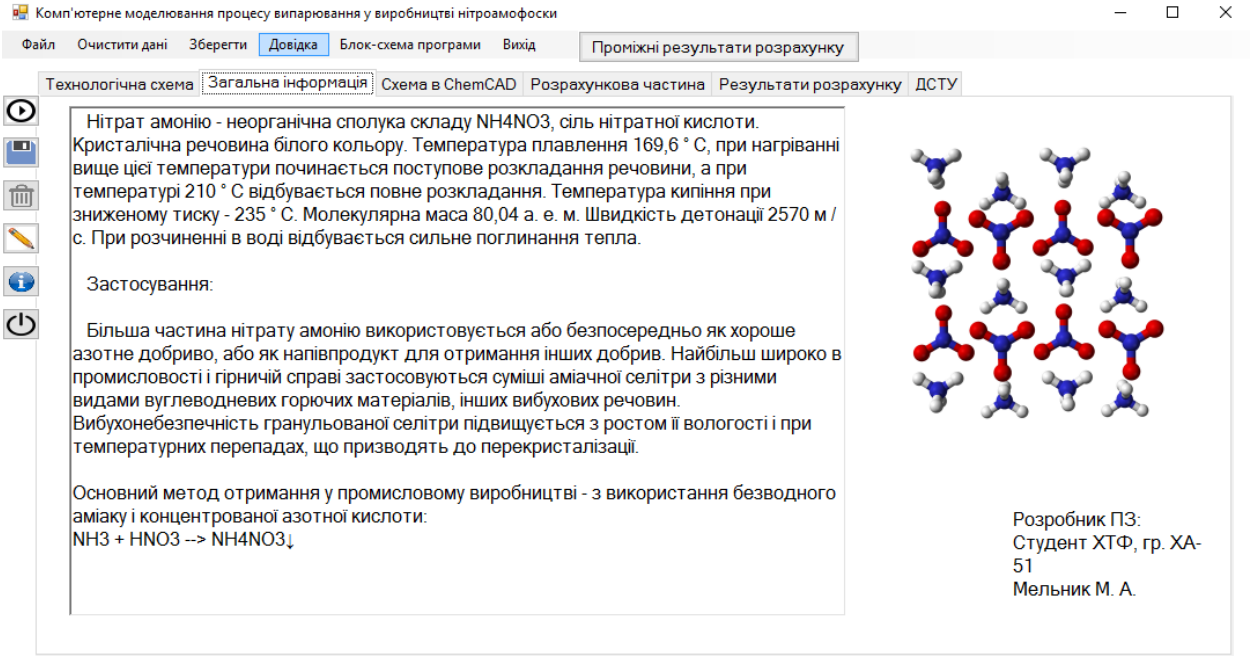



Рисунок 3.5 – Загальна інформація

Вигляд вкладки «Схема в ChemCad» зображений на рис. 3.6:

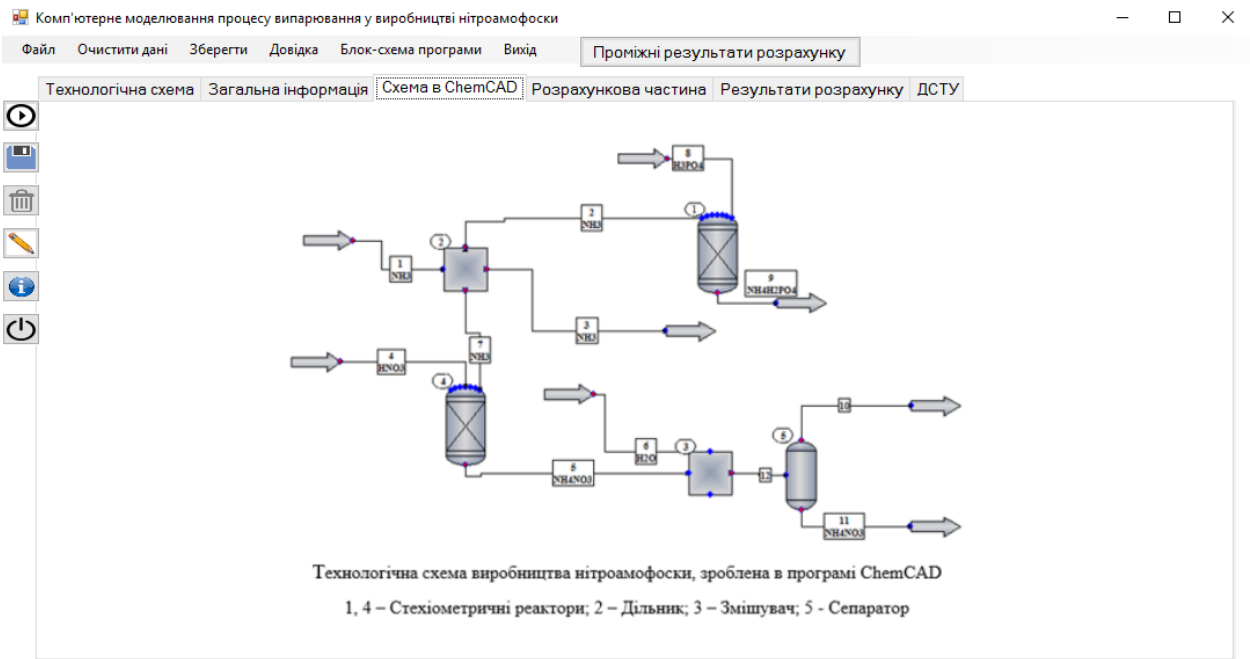
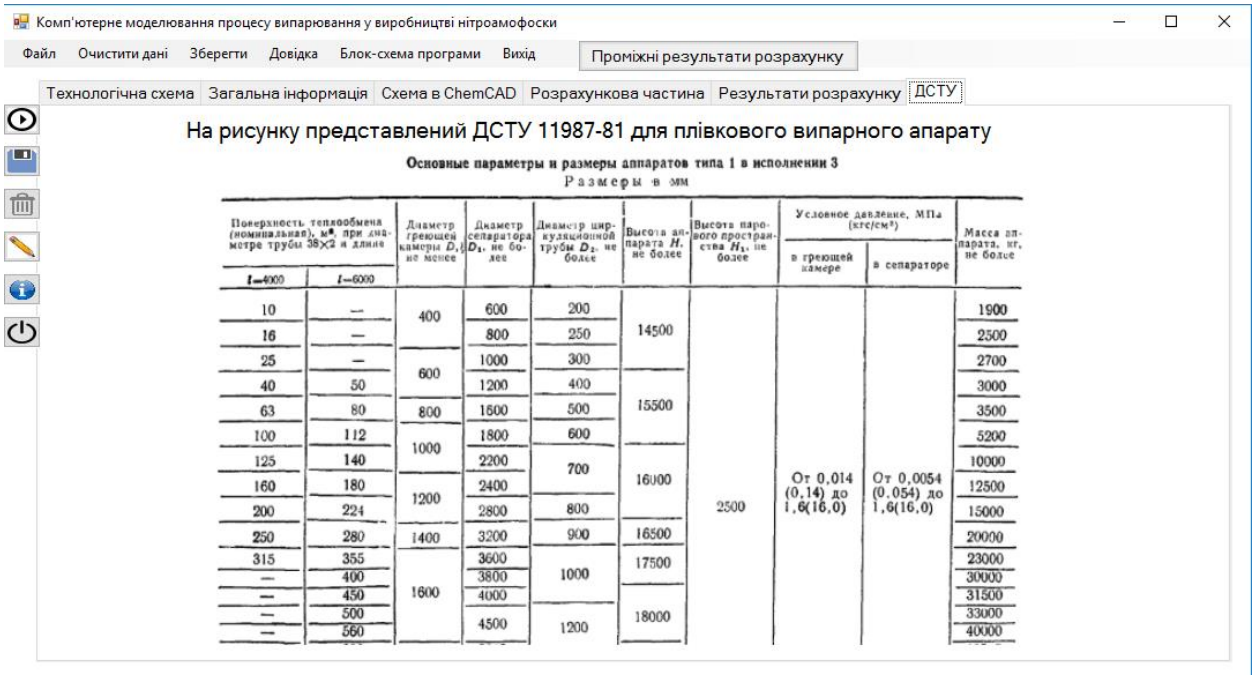



Рисунок 3.6 – Схема в ChemCad

Вигляд вкладки «ДСТУ» зображений на рис. 3.7:




**Основные параметры и размеры аппаратов типа 1 в исполнении 3**

Размеры в мм

| Поверхность теплообмена (номинальная), м², при диаметре трубы 38×2 и длине | | Диаметр греющей камеры $D_1$, не менее | Диаметр сепаратора $D_2$, не более | Диаметр циркуляционной трубы $D_3$, не более | Высота аппарата $H$, не более | Высота парового пространства $H_1$, не более | Условное давление, МПа (кгс/см²) | | Масса аппарата, кг, не более |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $l$=4000 | $l$=6000 | | | | | | в греющей камере | в сепараторе | |
| 10 | — | 400 | 600 | 200 | 14500 | 2500 | От 0,014 (0,14) до 1,6(16,0) | От 0,0054 (0,054) до 1,6(16,0) | 1900 |
| 16 | — | | 800 | 250 | | | | | 2500 |
| 25 | — | 600 | 1000 | 300 | | | | | 2700 |
| 40 | 50 | | 1200 | 400 | 15500 | | | | 3000 |
| 63 | 80 | 800 | 1500 | 500 | | | | | 3500 |
| 100 | 112 | 1000 | 1800 | 600 | | | | | 5200 |
| 125 | 140 | | 2200 | 700 | 16000 | | | | 10000 |
| 160 | 180 | 1200 | 2400 | | | | | | 12500 |
| 200 | 224 | | 2800 | 800 | | | | | 15000 |
| 250 | 280 | 1400 | 3200 | 900 | 16500 | | | | 20000 |
| 315 | 355 | 1600 | 3600 | 1000 | 17500 | | | | 23000 |
| — | 400 | | 3800 | | | | | | 30000 |
| — | 450 | | 4000 | | 18000 | | | | 31500 |
| — | 500 | | 4500 | 1200 | | | | | 33000 |
| — | 560 | | | | | | | | 40000 |

Рисунок 3.7 – ДСТУ

Для початку роботи з програмою, на вкладці «розрахункова частина» необхідно ввести дані про початкову концентрацію розчину, концентрацію розчину на виході, витрату вихідного розчину, тиск в паровій камері апарату, робочу поверхню труб в апараті, початкову температуру розчину та натиснути

«Запустити розрахунок». Після цього в частині для введення проміжних даних з’являться дані температур для яких необхідно ввести ентальпію пари на виході з апарату, теплоту конденсації гріючої пари, густину пари, коефіцієнт поверхневого натягу, коефіцієнт теплопровідності труб, товщину стінки труби та натиснути «Запустити розрахунок».

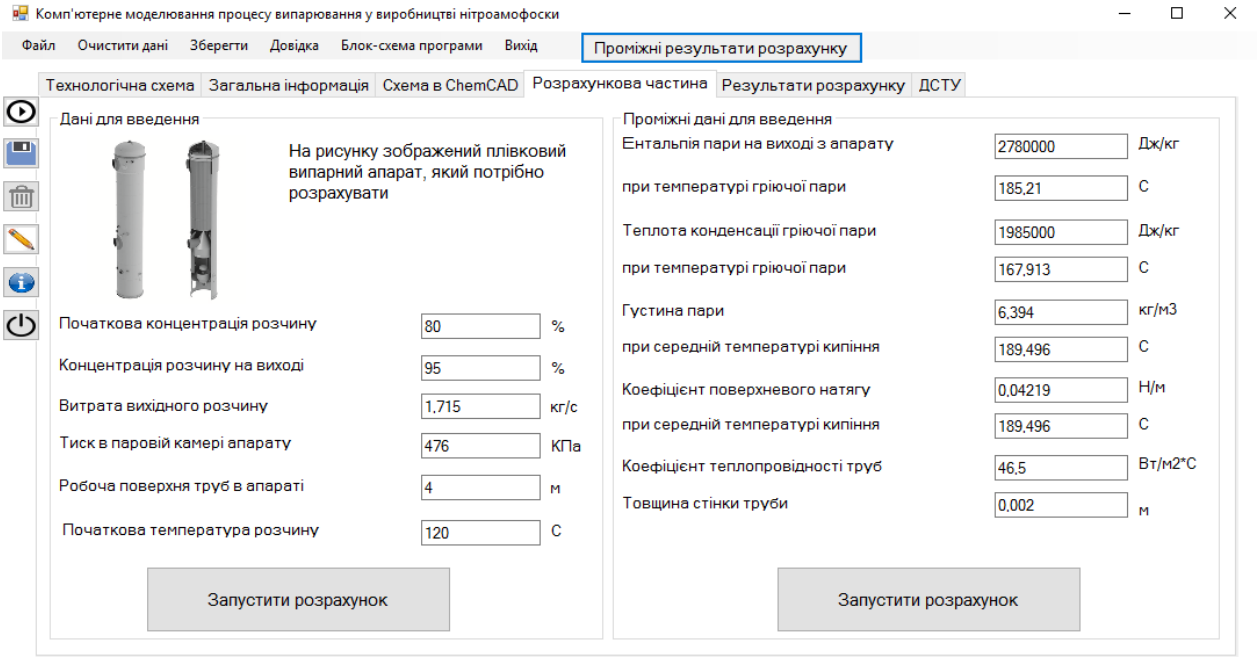



Рисунок 3.8 – Введення даних для розрахунку

На вкладці «Результати розрахунку» з’являться розраховані значення температур та обраної площі поверхні теплопередачі.

Комп'ютерне моделювання процесу випарювання у виробництві нітроамофоски

Файл | Очистити дані | Зберегти | Довідка | Блок-схема програми | Вихід | Проміжні результати розрахунку

Технологічна схема | Загальна інформація | Схема в ChemCAD | Розрахункова частина | Результати розрахунку | ДСТУ

**Температурний режим роботи випарного апарату**

| Наближення | $t_{ст.1}$, °C | $\Delta t_{конд.}$, K | $\alpha_{конд.}$, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$ | $q_{конд.}$, $\frac{Вт}{м^2}$ | $\Delta t_{ст}$, K | $t_{ст.2}$ °C | $\Delta t_{кип.}$, K | $\alpha_{кип.}$, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$ | $q_{кип.}$, $\frac{Вт}{м^2}$ | K, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$ | q, $\frac{Вт}{м^2}$ | $\frac{q_{кип}}{q_{конд}}$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 217,54 | 8379,38 | 22791,91 | 12,77 | 204,77 | 15,28 | 4145,58 | 63323,8 | 1086,03 | 33410,63 | 2,72 | 177,84 |
| 1 | 216,27 | 7615,4 | 30362,58 | 17,01 | 199,26 | 9,77 | 5019,08 | 49021,38 | 1122,62 | 34536,16 | 3,99 | 61,45 |
| 2 | 215,72 | 7374,11 | 33441,59 | 18,74 | 196,99 | 7,49 | 5352,91 | 40114,71 | 1132,96 | 34854,23 | 4,54 | 19,95 |
| 3 | 215,53 | 7298,06 | 34497,94 | 19,33 | 196,21 | 6,71 | 5465,05 | 36670,49 | 1136,07 | 34950,06 | 4,73 | 6,3 |
| 4 | 215,47 | 7274,33 | 34836,75 | 19,52 | 195,96 | 6,46 | 5500,77 | 35529,49 | 1137,03 | 34979,5 | 4,79 | 1,99 |

Так як похибка при останньому приближені 1,99% < 5%, порахуємо площу поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{ср}} = \frac{937300}{1137{,}091 \cdot 30{,}763} = 26{,}795\ м^2$$

Згідно ДСТУ 11987-81 Приймаємо апарат Тип 3, виконання 1
з площею поверхні теплопередачі 40 м2, труби 52 х 2,5 мм, довжиною Н = 7 м, діаметр гріючої камери 600 мм, діаметр сепаратора 1200мм, висота апарата не більше 11 м, висота парового простору 2500 мм, маса апарата 4400 кг

Рисунок 3.9 – Виведення результатів розрахунку

Для отримання проміжних результатів розрахунку необхідно натиснути на кнопку «Проміжні результати розрахунку», після чого з'явиться форма зі всіма обчисленнями та можливістю зберегти результати в файл.

Результати розрахунку

Найменування параметру

1.1. Масова витрата вихідного розчину, кг/с: 1,715
1.2. Масова витрата кінцевого розчину, кг/с: 1,444
1.3. Масова витрата випарюваної води, кг/с: 0,271
2.1. Тиск в паровій камері апарату, Па: 476000
2.2. Температура в паровій камері, С: 185,21
2.3. Температурна депресія, С: 35,05
2.4. Температура на виході з апарату, С: 220,26
2.5. Густина розчину кінцевої концентрації, кг/м3: 1667,749
2.6. Густина води при температурі кипіння розчину, кг/м3: 814,118
2.7. Приймемо робочу поверхню труб в апараті, м: 4
2.8. Оптимальна висота рівня розчину при природній циркуляції, м: 5,82
2.9. Тиск в трубах апарату, Па: 523609,397
2.10. Температура кипіння розчину в трубках, С: 189,496
2.11. Депресія від гідростатичного ефекту, С: 4,286
2.12. Гідравлічна депресія, С: 1
2.13. Теплоємність початкового розчину, Дж/кг*С: 4487,982
2.14. Теплоємність кінцевого розчину, Дж/кг*С: 5741,928
2.15. Температура при вході в апарат, С: 167,913
2.16. Витрата теплоти на нагрівання розчину (теплота самовипаровування), Вт: 402909,055
2.17. Питома ентальпія вторинної пари на виході з апарату при температурі в паровій камері, Дж/кг: 2780000
2.18. Теплоємність при температурі конденсації, Дж/кг*С: 4410,625
2.19. Витрата теплоти на випаровування, Вт: 490107,765
2.20. Витрата теплоти на втрати в навколишнє середовище, Вт: 44650,841
2.21. Витрата теплоти на випаровування, Вт: 937667,661
2.22. Сума температурних втрат, С: 40,336
3.1 Приймемо температуру гріючої пари, С: 204,496
3.2 Теплота конденсації гріючої пари, Дж/кг; 1985000
3.3 При вологості 5% витрата гріючої пари, кг/с: 0,26
3.4 Загальна різниця температур, С: 20,286
3.5 Корисна різниця температур, С: 15
3.6 Приймемо температуру зовнішньої поверхні труб рівній, С: 199,496
3.7 Густина розчину в трубах при середній температурі, кг/м3: 1906,716
3.8 В'язкість розчину в трубах при середній температурі, Па*с: 0,000358
3.9 Теплопровідність розчину в трубах при середній температурі, Вт/кг*С: 0,514127
3.10 Густина пари при середній температурі кипіння, кг/м3: 6,394
3.11 Коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м: 0,04219
3.12 Значення допоміжної функції: 0,092
3.13 Коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб, Вт/м2*С: 46,5

Зберегти розрахунки | Повернутися до головної форми

Рисунок 3.10 – Форма з результатами розрахунків

За бажанням користувача, результати розрахунків можна вивести на екран, відкривши звіт в пункті меню «Зберегти».

Результати розрахунків:
1.1. Масова витрата вихідного розчину, кг/с: 1,715
1.2. Масова витрата кінцевого розчину, кг/с: 1,444
1.3. Масова витрата випарюваної води, кг/с: 0,271
2.1. Тиск в паровій камері апарату, Па: 476000
2.2. Температура в паровій камері, С: 185,21
2.3. Температурна депресія, С: 35,05
2.4. Температура на виході з апарату, С: 220,26
2.5. Густина розчину кінцевої концентрації, кг/м3: 1667,749
2.6. Густина води при температурі кипіння розчину, кг/м3: 814,118
2.7. Приймемо робочу поверхню труб в апараті, м: 4
2.8. Оптимальна висота рівня розчину при природній циркуляції, м: 5,82
2.9. Тиск в трубах апарату, Па: 523609,397
2.10. Температура кипіння розчину в трубках, С: 189,496

Рис 3.11 – Збережені у файл результати розрахунків

При виборі пункту меню «Довідка» виводиться форма, яка містить інформацію про можливості програми та автора.

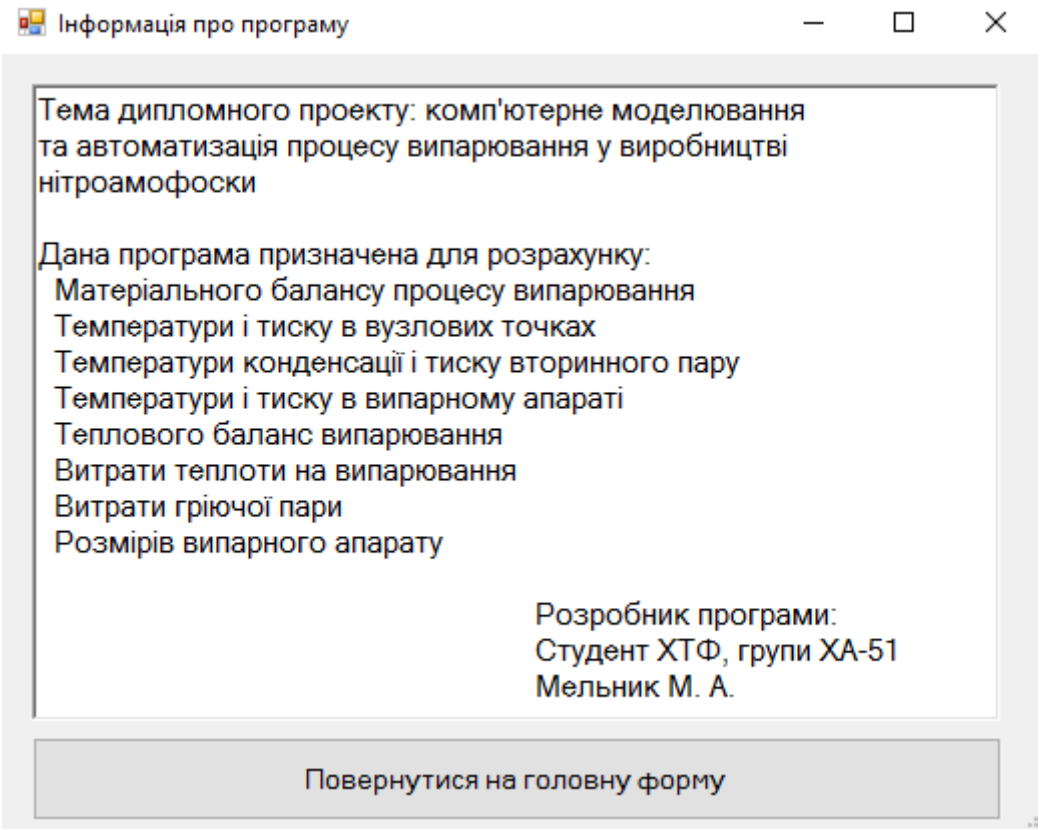



Рисунок 3.12 – Вікно інформації про програму

При виборі пункту меню «Блок-схема програми» виводиться форма, яка містить блок-схему роботи програми.

Програма виконує розрахунки доки значення похибки не буде менше 5%.

Виконавши розрахунки програми можна обрати розмір апарату при заданих початкових даних та розрахувати всі необхідні для цього параметри. Код програми наведений в додатку В.

## 4 Автоматизація технологічної схеми процесу випарювання нітрату амонію

### 4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми

Автоматизація виробництва забезпечує необхідний контроль, раціональне використання ресурсів, зменшення витрат на використання ручної праці за шкідливих умов [9].

Основною метою розробки схеми автоматизації вибір приладів і засобів автоматизації, які найбільш ефективно забезпечать проходження технологічного процесу, а саме: забезпечать найкращу якість продукту і його максимальний вихід, забезпечать необхідну зручність для контролю та регулювання технологічним процесом [9].

Основним апаратом в якому проходить процес отримання амоній нітрату є плівковий випарний апарат. Тому для підтримки необхідних умов у випарнику необхідно впровадити наступні контури:

- контур контролю і регулювання витрати пари в трубопроводі подачі в випарник;
- контур контролю тиску у випарному апараті;
- контур контролю якості вихідної речовини на виході з випарника;
- контур контролю температури вхідної речовини в випарник.

Завданням технологічного процесу є виготовлення кінцевого продукту-нітроамофоски, з умовою підтримки встановленої норми виготовлення.

Для підвищення якості продукції та дотримання технологічного режиму необхідно також запровадити додаткові контури, такі як: контури контролю і регулювання витрати аміаку в трубопроводі, контури регулювання температури в апараті ВТН, збірнику плаву, нейтралізаторі, барабанні сушарки, топці і холодильнику, контур контролю та регулювання витрати фосфорної кислоти в трубопроводі подачі в нейтралізатор, контур контролю та регулювання витрати азотної кислоти в трубопроводі подачі в апарат, контур контролю та регулювання витрати аміаку в трубопроводі подачі в

амонізатор-гранулятор, контур контролю та регулювання витрати хлориду калію в трубопроводі подачі в амонізатор-гранулятор, контури покази вологості, концентрації в трубопроводах і додаткові контури сигналізації про вихід системи з нормального стану [10].

### 4.2 Визначення параметрів автоматизації

Для безпечної роботи схеми, підтримання робочих параметрів, отримання цільового продукту і попередження аварійної ситуації було обрано наступні параметри регулювання, які наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри регулювання та контролю виробництва

| № п/п | Місце заміру на технологічному об'єкті | Параметр, що вимірюється та (або) регулюється | Норми технологічного режиму та допустимі відхилення | Схема автоматизації |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Трубопровід подачі аміаку в нейтралізатор | Витрата | 9225 ± 230 м$^3$/год | Контроль |
| 2 | Трубопровід подачі фосфорної кислоти в нейтралізатор | Витрата | 6529 ± 32 м$^3$/год | Контроль |
| 3 | Нейтралізатор | Температура | 115 ± 5 ºС | Показання та контроль |
| 4 | Трубопровід подачі азотної кислоти апарат ІТН | Витрата | 3218 ± 97 м$^3$/год | Контроль |
| 5 | Апарат ІТН | Температура | 120 ± 10 ºС | Показання та контроль |
| 6 | Трубопровід подачі нітрату амонію в випарний апарат | Концентрація | 80 ± 0,4 % | Показання |
| 7 | Трубопровід подачі нітрату амонію в випарний апарат | Температура | 120 ± 10 ºС | Показання |
| 8 | Трубопровід подачі пари в випарний апарат | Витрата | 3321 ± 100 м$^3$/год | Контроль |

Продовження таблиці 4.1

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 9 | Випарний апарат | Тиск | 476 ± 5 кПа | Показання та сигналізація |
| 10 | Трубопровід подачі нітрату амонію в збірник плаву | Концентрація | 95 ± 0,5 % | Показання |
| 11 | Збірник плаву | Рівень | 1 ± 0,1 м | Показання та сигналізація |
| 12 | Трубопровід подачі нітрату амонію в амонізатор-гранулятор | Температура | 160 ± 10 ºС | Показання та контроль |
| 13 | Трубопровід подачі хлориду калію в амонізатор-гранулятор | Витрата | 6109 ± 31 $м^3$/год | Контроль |
| 15 | Трубопровід подачі аміаку в амонізатор-гранулятор | Витрата | 4730 ± 142 $м^3$/год | Контроль |
| 16 | Барабанна сушарка | Температура | 105 ± 5 ºС | Показання та контроль |
| 17 | Трубопровід подачі гранул в гуркіт | Вологість | 0,5 ± 0,003 % | Показання та сигналізація |
| 18 | Топка | Температура | 180 ± 10 ºС | Показання та контроль |
| 19 | Холодильник | Температура | 40 ± 5 ºС | Показання та контроль |

На основі даних, наведених у таблиці 4.1, розроблена схема автоматизації процесу отримання нітроамофоски включає в себе 6 контурів контролю і регулювання витрати, 7 контурів контролю і регулювання температури, 1 контур контролю тиску, 3 контури сигналізації, 2 контуру

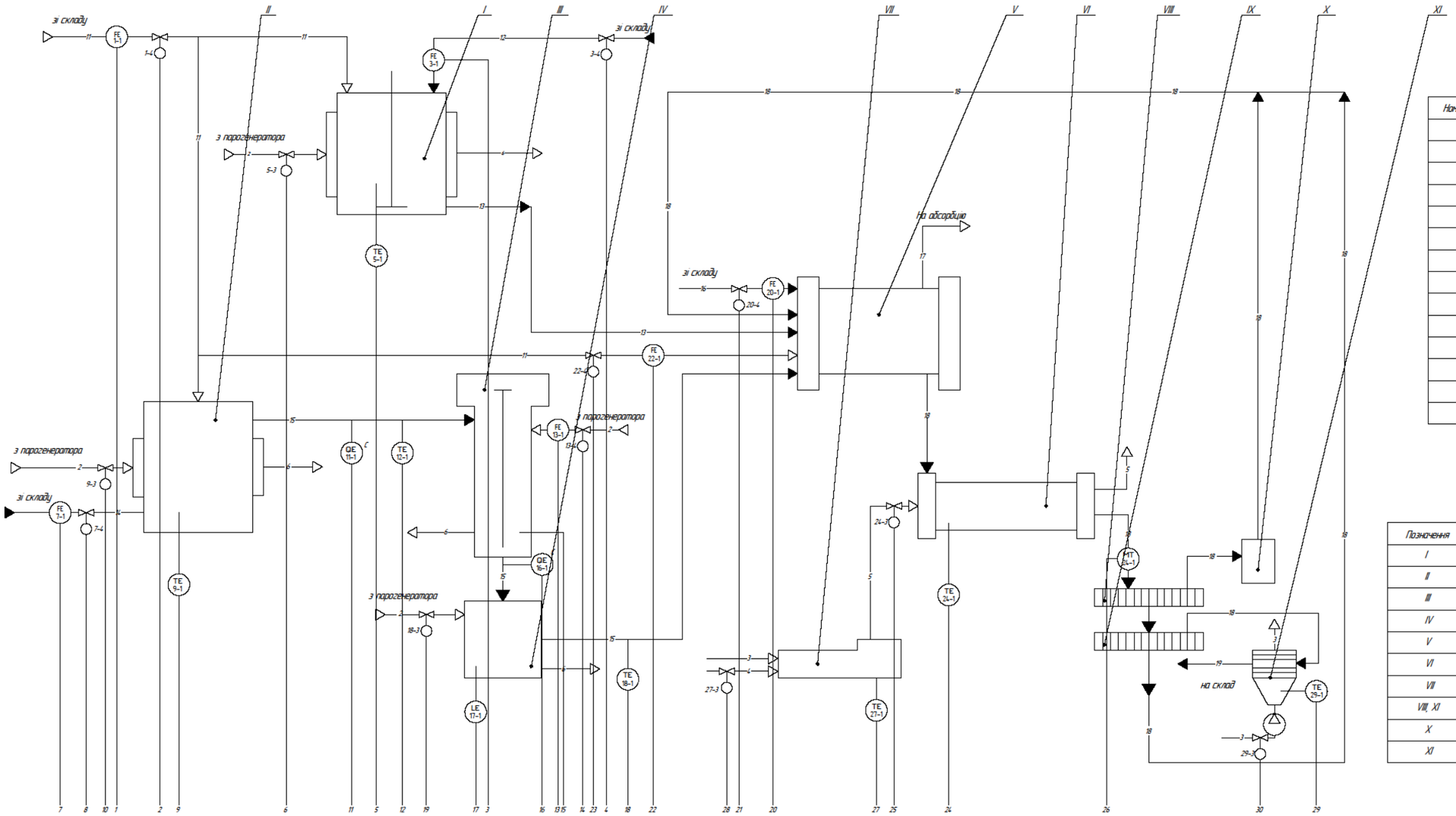
показання та контролю концентрації, 1 контур показання та контролю рівня, 1 контур показання та контролю вологості.

Засоби автоматизації підбирають, враховуючи особливості технологічного режиму. При цьому слід дотримуватися наступних правил:

- для регулювання однакових параметрів технологічного процесу застосовуємо однотипні засоби автоматизації;
- клас точності приладів повинен відповідати технологічним вимогам;
- діапазон вимірювання приладів повинен відповідати діапазону технологічних параметрів, що регулюються [10].

Засоби автоматизації вибрані по каталогам [12-18] та зведені в специфікації (Додаток Б).

Схема автоматизації процесу виробництва нітроамофоски зображена на рис 4.1:




| Номер потоку | Речовина |
|---|---|
| –2– | Пара |
| –3– | Повітря |
| –4– | Газ |
| –5– | Топковий газ |
| –6– | Конденсат |
| –11– | Амоак |
| –12– | Фосфорна кислота |
| –13– | Дигідрофосфат амонію |
| –14– | Азотна кислота |
| –15– | Нітрат амонію |
| –16– | Хлорид калію |
| –17– | Гази |
| –18– | Гранули нітроамофоски |
| –19– | Готова нітроамофоска |

| Позначення | Назва апарата | Кількість |
|---|---|---|
| I | Нейтралізатор | 1 |
| II | Апарат ІТН | 1 |
| III | Плівковий випарний апарат | 1 |
| IV | Збірник плаву | 1 |
| V | Амонізатор-гранулятор | 1 |
| VI | Барабанна сушарка | 1 |
| VII | Топка | 1 |
| VIII, XI | Гуркіт | 2 |
| X | Дробарка | 1 |
| XI | Холодильник | 1 |

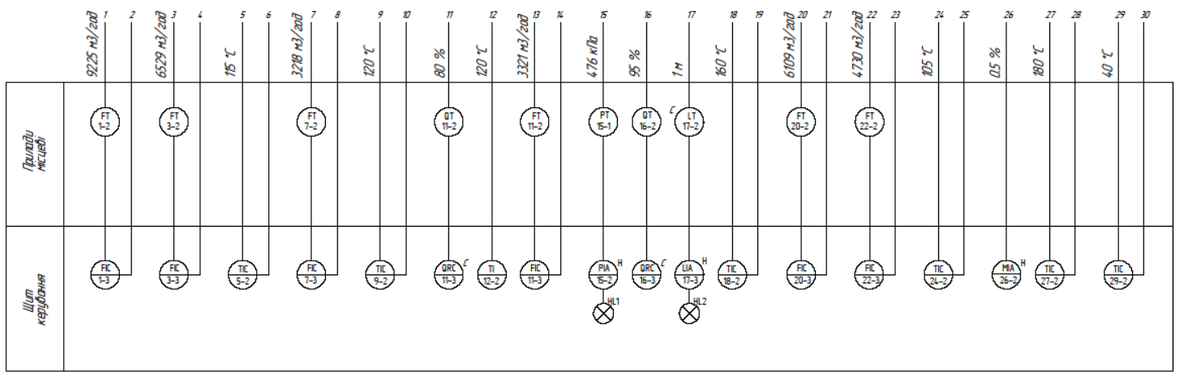



Рисунок 4.1 – Схема автоматизації процесу виробництва нітроамофоски

### 4.3 Опис схеми автоматизації

**Контроль температури**

В якості вимірювальних приладів температури було обрано термоелектричні перетворювачі опору мідні марки ТСМ-1293-01 (поз. 5-1, 9-1, 12-1, 18-1, 24-1, 27-1, 29-1) з діапазоном вимірювання температури від -50 до 200˚С, що призначенні для вимірювання температури у рідких і газоподібних середовищах, у вибухонебезпечних зонах, в яких може міститися аміак, азотно-воднева суміш, вуглекислий, природний або конвертований газ і його компоненти, шляхом перетворення опору в уніфікований сигнал 4-20 мА. Далі сигнал подається на електричний ПІД-регулятор марки МТМ 620 (поз. 5-2, 9-2, 12-2, 18-2, 24-2, 27-2, 29-2), який відображає вимірювану температуру надсилає коригуючий сигнал на виконавчий механізм. Регулювання витрати в контурах виконані за допомогою регулювання пари за допомогою виконавчих механізмів МЕО-40 (поз. 5-3, 9-3, 12-3, 18-3, 24-3, 27-3, 29-3).

**Контроль витрати**

Для контролю та регулювання витрати рідини (фосфорної кислоти, нітратної кислоти, хлориду калію) використовується діафрагма камерна ДКС 0,6 – 100 (поз. 3-1, 7-1, 20-1), з діаметром 100 мм фосфорної кислоти, хлориду калію і нітратної кислоти.

Для контролю та регулювання витрати аміаку використовується діафрагма камерна ДКС 0,6 – 125 (поз. 1-1, 22-1) з витратою 10000 $м^3$/год, діаметр 125 мм.

Для контролю та регулювання витрати пари використовується діафрагма камерна ДКС 0,6 – 80 (поз. 13-1) з витратою 5000 $м^3$/год, діаметр 80 мм.

Дифманометр безшкальний з квадратичною функцією 13ДД11 (поз. 1-2, 3-2, 7-2, 13-2, 20-2, 22-2), вимірює перепад тиску і передає сигнал на вторинний прилад.

Прилад вторинний пневматичний показувальний і реєструвальний зі станцією керування ФК0071 (поз. 1-3, 3-3, 7-3, 13-3, 20-3, 22-3), здійснює контроль витрати.

**Контроль рівня**

Для контролю рівня в збірнику плаву встановлений комплект регулятор-сигналізатора рівня ЕРСУ-3Р (поз. 17-1, 17-2), який включає в себе передавальний перетворювач і чутливі елементи. Даний комплект призначений для показання рівня рідини. При досяганні верхнього рівня прилад сигналізує про це.

**Контроль концентрації**

Для показання та контролю значення концентрації розчинів солей, лугів, кислот розроблено контур, що містить аналізатор рідини кондуктометричний АЖК-3101М (поз. 11-1, 16-1), що складається з первинного перетворювача, вимірювального пристрою, показувального приладу. Датчик через кожні 2 секунди передає сигнал на цифровий показувальний прилад, на якому відображається поточне значення концентрації в речовини в потоці.

**Контроль тиску**

Для показання, реєстрації та сигналізації значення тиску в трубопроводах та апаратах було розроблено контур, що містить пристрій КІМО СР 204-МО (поз. 15-1, 15-2), що складається з передатчика типу СР 100 та показуючо-сигналізуючого приладу. При досяганні верхнього та (або) нижнього значення тиску прилад сигналізує про аварійний режим роботи системи.

**Контроль вологості**

Для показання, реєстрації та сигналізації значення вологості в трубопроводах та апаратах було розроблено контур, що містить пристрій ИВА-6Б2-К (поз. 26-1, 26-2), що складається з передатчика типу ДВ2ТС(М)-5Т-5П-АК та показуючо-сигналізуючого приладу. При досяганні верхнього та

(або) нижнього значення вологості прилад сигналізує про неправильну кількість вологи в гранулах нітроамофоски.

Розроблена схема автоматизації забезпечує ведення процесу виробництва нітроамофоски згідно технічного регламенту.

На рисунку 4.2 зображено схему монтажу термометра опору.

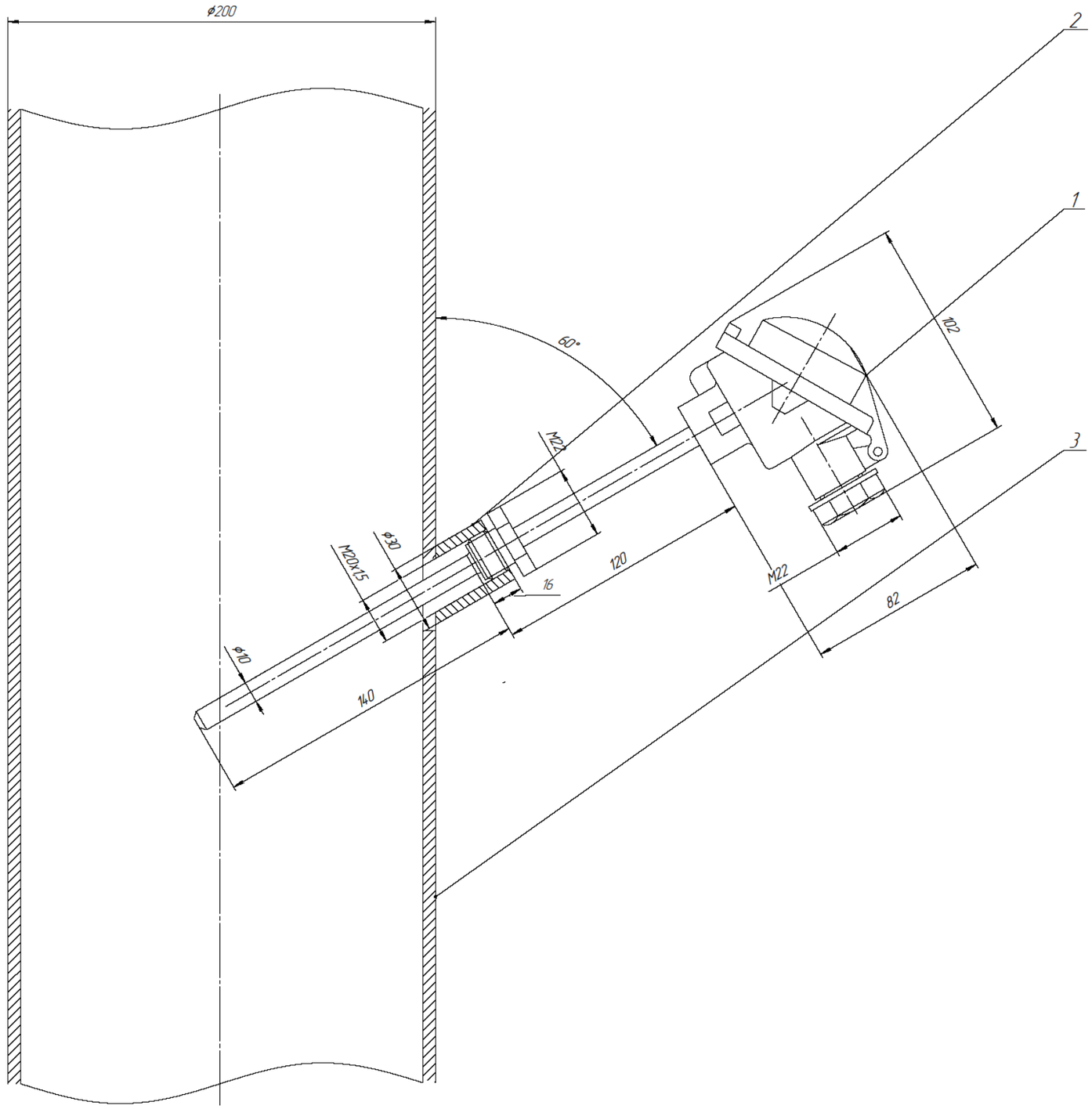



Рисунок 4.2 – Схема монтажу термометра опору

## 5 Економіко-технічні рохрахунки

### 5.1 Схема організації підприємства виробництва нітроамофоски

Нітроамофоска – потрійне фізіологічно нейтральне мінеральне добриво – концентроване, азотно-фосфорно-калійне, гранульоване. Нітроамофоска використовується на будь-якому ґрунті, під всі сільськогосподарські культури та в садоводстві. Дози добрив розраховуються за даними агрохімічного аналізу ґрунту, кліматичних умов, біологічних потреб і запланованої врожайності культури [19].

КВЕД ДК 009:2010 секція С 20.15.

Проект передбачає розробку підприємства виробництва нітроамофоски шляхом випарування нітрату амонію. Продуктивність 6701,4 т/рік. Організаційна структура повинна повністю забезпечити потреби підприємства в обслуговуванні.

Організаційна структура підприємства має наступний вигляд:

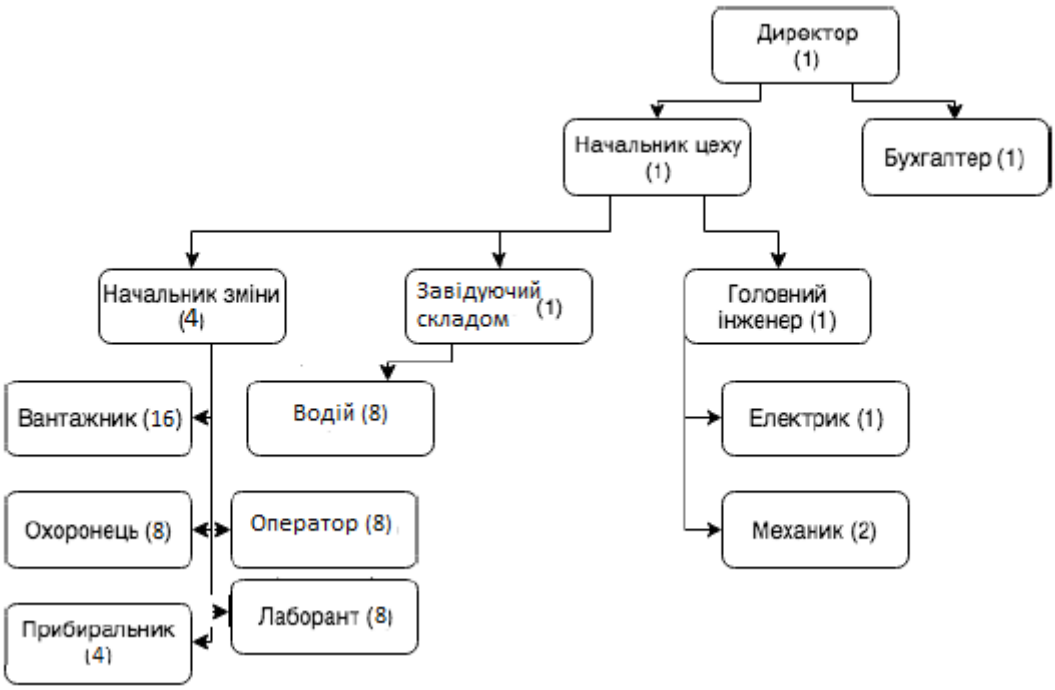



Рисунок 5.1 – Організаційна структура підприємства

## 5.2 Технологічна підготовка виробництва

Виробничі процеси підприємства поділяються на основні, допоміжні, підсобні та бічні, що наведені у таблиці 5.1 [20].

Таблиця 5.1 – Класифікація виробничих процесів цеху

| Виробничі процеси | Стадії |
|---|---|
| Основні | 1. Аналіз сировини;<br>2. Нейтралізація фосфорної кислоти;<br>3. Нейтралізація азотної кислоти;<br>4. Випарювання нітрату амонію;<br>5. Гранулювання і підсушування;<br>6. Фасування і відправка на склад. |
| Допоміжні | 1. Обслуговування та ремонт обладнання; |
| Підсобні | 1. Постачання запасних деталей апаратів;<br>2. Постачання палива та енергоресурсів для роботи апаратів;<br>3. Перевірка стану апаратів; |
| Бічні | 1. Утилізація відходів;<br>2. Прибирання. |

Тривалість виробничого циклу складає 8 годин і складається з 5 етапів наведених в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Тривалість операцій виробничого процесу

| № | Назва операції | Час виконання, год |
|---|---|---|
| 1 | Нейтралізація фосфорної кислоти | 2 |
| 2 | Нейтралізація азотної кислоти | 1,5 |
| 3 | Випарювання нітрату амонію | 1 |
| 4 | Гранулювання і підсушування | 2,5 |
| 5 | Фасування і відправка на склад | 1 |

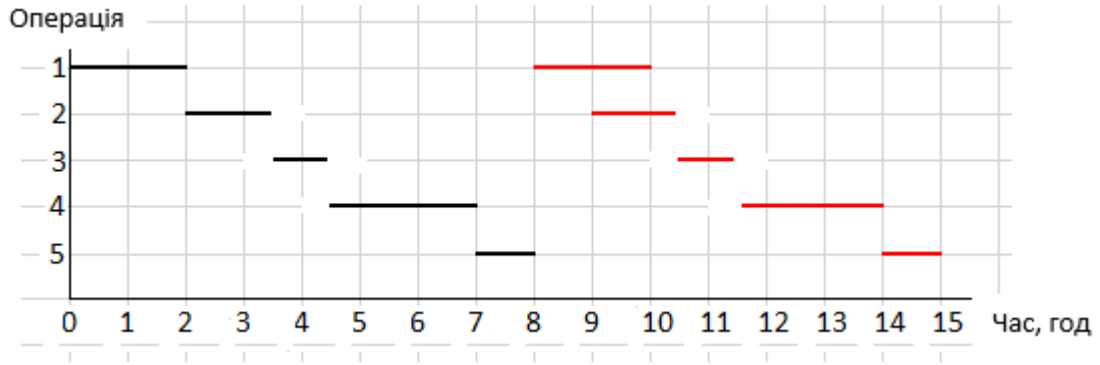



Рисунок 5.2 – Послідовний ВРПП

$$T_{ВЦ}^{посл} = B\sum_{i=1}^{n} t = (2 + 1{,}5 + 1 + 2{,}5 + 1) \cdot 2 = 16 \text{ год.} \qquad (5.1)$$

$N_{обл}$ = 5; $Ч_{перс}$ = 1 особа.

Порівняльна таблиця показників при різних видах ВРПП наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Порівняння показників при різних видах ВРПП

| | $N_{обл}$ | $Ч_{перс}$, ос. | $T_{вц}$, хв | К-сть партій за тиждень |
|---|---|---|---|---|
| Послідовний | 5 | 1 | 960 | 21 |
| Паралельний | 5 | 5 | 630 | 65 |
| Синхронізований | 10 | 10 | 540 | 161 |

При порівняні всіх видів ВРПП, послідовний є найкращим, бо випуск продукції за таких умов є оптимальною з урахуванням кількості персоналу та обладнання [19].

За одну партію виготовляється 6120 кг добрива.

Кількість партій, що можна виготовити за день при послідовному ВРПП:

$$B = \frac{T_{ВЦ}^{посл}}{\sum_{i=1}^{N} t_i} = \frac{24}{2 + 1{,}5 + 1 + 2{,}5 + 1} = 3. \qquad (5.2)$$

Кількість виробничих циклів на протязі року :

$$n_{В.ц} = \frac{365 \cdot 24}{2 + 1{,}5 + 1 + 2{,}5 + 1} = 1095. \qquad (5.3)$$

Річний випуск продукції для обраного ВРПП:

$B_{річн} = B_{В.ц.} \cdot n_{В.ц} = 6120 \cdot 1095 = 6701,4$ т добрив. (5.4)

## 5.3 Розрахунок необхідної кількості обладнання та працівників

Таблиця 5.4 - Обладнання

| № п/п | Назва обладнання | Кількість |
|---|---|---|
| 1 | Змішувач | 1 |
| 2 | Нейтралізатор | 1 |
| 3 | Випарник | 1 |
| 4 | Амонізатор-гранулятор | 1 |
| 5 | Барабанний підсушувач | 1 |

Явочна чисельність – максимально допустима чисельність працівників, необхідна для виконання обсягу робіт та для повної комплектації робочих місць за зміну [22].

Для оптимальної організації роботи працівників в умовах безперервного виробництва на даному підприємстві працюватиме 4 бригади робочого персоналу, черговий персонал та адміністративно-управлінський персонал:

1. Адміністрація (директор, начальник цеху, головний інженер, завідуючий складом, бухгалтер) працює п’ять днів на тиждень з 10:00 до 18:00 і мають вихідні – субота та неділя.

2. Черговий персонал (два механіки та електрик) присутній впродовж денної зміни.

3. Робочий персонал працює у дві зміни: перша з 8:00 до 20:00, друга з 20:00 до 8:00. Тривалість зміни 12 годин. Вихідні змінні в залежності від графіку змінності працівників. Кожна бригада працює по 180 годин на місяць.

1 бригада: начальник зміни, 2 працівники лабораторії, 1 оператор обладнання, 4 вантажники, 1 прибиральник, 2 охоронця, 2 водії.

2 бригада: начальник зміни, 2 працівники лабораторії, 1 оператор обладнання, 4 вантажники, 1 прибиральник, 2 охоронця, 2 водії.

3 бригада: начальник зміни, 2 працівники лабораторії, 1 оператор обладнання, 4 вантажники, 1 прибиральник, 2 охоронця, 2 водії.

4 бригада: начальник зміни, 2 працівники лабораторії, 1 оператор обладнання, 4 вантажники, 1 прибиральник, 2 охоронця, 2 водії.

Графік змінності зображений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Графік змінності

| **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 |

Явочна кількість адміністративно-управлінського персоналу:

$$Ч_{яв} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5 \text{ осіб.} \quad (5.5)$$

Явочна кількість робочого персоналу:

$$Ч_{яв} = 13 \text{ роб.} + 3 \text{ черг.} = 16 \text{ осіб.} \quad (5.6)$$

Знаходимо нормативний відпрацьований час кожним працівником:

$$T^{роб.}_{факт.} = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - (8 - 1) \cdot 1 = 2015 \text{ год/рік} \quad (5.7)$$

Чисельність за списком – кількість персоналу, необхідна підприємству для нормального функціонування. Сюди включають: штатну чисельність, для виконання незапланованих робіт, заміна хворих, відсутні у відпустках, або відсутніх з інших поважних причин та інші.

Розраховуємо чисельність робочого персоналу за списком. Для цього в першу чергу знайдемо тривалість роботи підприємства на рік:

$$T^{рік}_{підп.} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год/рік} \quad (5.8)$$

$$К_{перерах.} = \frac{T^{рік}_{підп.}}{T^{роб.}_{факт.}} = \frac{8760}{2015} = 4{,}3 \quad (5.9)$$

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} \cdot К_{перерах.} = 13 \text{ роб.} \cdot 4 + 3 \text{черг.} = 55 \text{ осіб.} \quad (5.10)$$

Фактична тривалість роботи персоналу:

$$T_{прац.}^{факт} = \frac{365}{T_{зм.об.}} \cdot \left(T_{зм.об.} - T_{вихідн.}\right) \cdot T_{зміни} = \frac{365}{16} \cdot (16 - 8) \cdot 12 \quad (5.11)$$

$$= 2190 \text{ год/рік}$$

$$T_{переправц} = T_{прац.}^{факт} - T_{факт.}^{роб.} = 2190 - 2015 = 175 \text{ год/рік} \quad (5.12)$$

Оскільки час перепрацювання кожного працівника складає 175 год/рік - це було враховано при нарахуванні заробітної плати.

Для адміністративно-управлінського персоналу чисельність за списком дорівнює явочній чисельності.

### 5.4 Контроль виробництва

На підприємстві проводиться вхідний, поточний і підсумковий контролі.

Об'єктами технічного контролю є сировина, незавершене виробництво, безпосередньо технологічний процес, співробітники і готова продукція.

Вхідний контроль – це перевірка якості продукції перед запуском у виробництво. Суб'єктами є лаборанти. Вхідний контроль включає проби сировини, що надходить у виробництво. Аналіз сировини проводять візуально (зовнішній вигляд, запах, колір) і лабораторно (хімічний склад). Результати досліджень записують до спеціального журналу вхідного контролю [23].

Під час поточного контролю на підприємстві здійснюється перевірка виконання технологічних операцій. Крім того контролюють як працює обладнання і немає ніяких порушень. Об'єктами є технологічний процес і обладнання, персонал і напівфабрикат. Суб'єктами є оператор обладнання, головний інженер-технолог, інженер-механік, лаборант. Апарати встановлюють згідно з правилами монтажу електрообладнання вимогам безпеки праці та пожежної безпеки. Кожен апарат повинен мати свою електричну проводку, захисні і заземлюючі пристрої, електричні контакти повинні бути щільно приєднані проти регулювання і безпеки закриті

кожухами. Результати контролю заносяться в журнал поточного контролю [23].

При вихідному контролі здійснюється оцінка якості готової продукції. Основна мета контролю-виявлення браку. Суб'єктами є головний інженер, лаборант, пакувальники. Аналіз готового продукту проводять візуально, лабораторно і геометрично. Результати досліджень записуються в журнал вихідного контролю, на підставі якого головним інженером, а потім начальником цеху заповнюється паспорт якості на продукцію, що передається на підпис директору підприємства. За технічним рівнем всі види контролю є ручними, тільки при перевірці обладнання та технологічного процесу використовують автоматизований вигляд [23].

Таким чином, на виробництві виконуються всі види контролю за стадіями процесу: вхідний, проміжний і вихідний. Результати досліджень доносяться до начальника цеху, а потім до директора [23].

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

Оборотні засоби – матеріальні цінності і грошові засоби, які у розпорядженні підприємства, використовуються в процесі виготовлення продукції і повертаються підприємством в ході продажу [24]. До оборотних засобів відносять:

• ФОП;

• Затрати на сировину та електроенергію;

• Опалення приміщення.

Затрати на сировину зручно привести у вигляді таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Розрахунок вартості сировини

| Назва | Норма витрат т/рік. | Ціна, грн./т | Сума витрат грн./рік |
|---|---|---|---|
| Фосфорна кислота | 2365,2 | 4300 | 10 170 360 |
| Азотна кислота | 798,26 | 7400 | 5 907 124 |
| Аміак | 3232,44 | 7600 | 24 566 544 |
| **Сумарні витрати на сировину $Ц_{сир}$, грн./рік** | | | **40 644 028** |

Заробітна плата працівників цеху наведена в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Заробітна плата працівників підприємства

| Посада | Кількість осіб | З/п грн. за місяць | Всього грн. на місяць |
|---|---|---|---|
| Директор | 1 | 25 000 | 25 000 |
| Начальник цеху | 1 | 18 000 | 18 000 |
| Головний інженер | 1 | 18 000 | 18 000 |
| Бухгалтер | 1 | 15 000 | 15 000 |
| Завідуючий складом | 1 | 10 000 | 10 000 |
| Оператор обладнання | 4 | 8 000 | 32 000 |
| Працівник лабораторії | 8 | 7 000 | 56 000 |
| Начальник зміни | 4 | 10 000 | 40 000 |
| Охоронець | 8 | 6 500 | 52 000 |
| Прибиральники | 4 | 4 000 | 16 000 |
| Вантажники | 16 | 5 000 | 80 000 |
| Водії | 8 | 5 500 | 44 000 |
| Механік | 2 | 7 000 | 14 000 |
| Електрик | 1 | 7 000 | 7 0000 |
| **З/п за місяць, грн/місяць** | | | **406 000** |
| **З/п за рік, грн/рік** | | | **4 872 000** |
| **ФОП, грн/рік** | | | **5 943 840** |

Розрахунок електроенергії:

Вартість електроенергії розраховуємо за 2-зонним тарифом, диференційованим за періодом часу: в денний період (з 7 год. до 23 год.) – тарифний коефіцієнт складає 1, в нічний період (з 23 год. до 7 год.) – 0.5.

Загальна потужність обладнання становить 16000 кВт/год.

Протягом доби витрачається електроенергії:

$$Ц_е = 16000 \cdot 2{,}5 \cdot 16/24 + 16000 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 8/24 = 33\ 333 \text{ грн.} \quad (5.13)$$

За рік:

$$Ц_е = 33333 \cdot 365 = 12\ 166\ 666 \text{ грн.} \quad (5.14)$$

Витрати на опалення цеху. Загальна площа: 2050 м$^2$; тарифна ставка на опалення: 36,97 грн./м$^2$ міс; Сезон опалення: 6 місяців

$$Ц_{опал.} = 2050 \cdot 36{,}97 \cdot 6 = 405\ 531 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (5.15)$$

Собівартість нітроамофоски:

$$С_{Ам} = А + Об.З = 317\ 400 + 59\ 160\ 065 = 59\ 477\ 465 \text{ грн/рік.} \quad (5.16)$$

Собівартість виробництва:

$$С_{Вир} = С_{Ам} + Невраховані = С_{Ам} \cdot 0{,}5 = 29\ 738\ 732{,}5 \text{ грн/рік.} \quad (5.17)$$

Собівартість повна:

$$С_П = С_{Вир} + Накладні = 2 \cdot С_{Вир} + С_{Ам} = 118954930 \text{ грн/рік.} \quad (5.18)$$

Розрахуємо вартість основних фондів підприємства та термін їх експлуатації [22]:

Таблиця 5.8 - Розрахунок вартості ОФ підприємства

| Основні фонди | Вартість, грн. | Термін експлуатації, років | Амортизація, грн. | Норма амортизації, % |
|---|---|---|---|---|
| Склад | 300 000 | 20 | 15 000 | 5 |
| Цех | 1 000 000 | 20 | 50 000 | 5 |
| Реактор | 150 000 | 5 | 30 000 | 20 |
| Насос (2) | 24 000 | 5 | 4 800 | 20 |
| Нейтралізатор | 80 000 | 5 | 16 000 | 20 |
| Апарат ВТН | 120 000 | 5 | 24 000 | 20 |
| Випарник | 85 000 | 5 | 17 000 | 20 |
| Збірник | 14 000 | 5 | 2 800 | 20 |
| Амонізатор-гранулятор | 140 000 | 5 | 28 000 | 20 |
| Сушарка | 75 000 | 5 | 15 000 | 20 |
| Топка | 40 000 | 5 | 8 000 | 20 |
| Гуркіт (2) | 34 000 | 5 | 6 800 | 20 |
| Дробарка | 115 000 | 5 | 23 000 | 20 |
| Холодильник | 50 000 | 5 | 10 000 | 20 |
| Транспорт (4) | 1 000 000 | 20 | 50 000 | 5 |
| Виробничий інвентар (3) | 48 000 | 4 | 12 000 | 4 |
| Нематеріальні активи | 60 000 | 12 | 5 000 | 8 |
| **ОФ =** | **3 335 000** | **А =** | **317 400** | |

## 5.6 Розрахунок техніко-економічних показників

Всі показники були зведені в таблицю 5.9.

Таблиця 5.9 Техніко-економічні показники підприємства

| Показник | Розрахунок | Розмірність |
|---|---|---|
| Випуск продукції | 6701400 | кг./рік |
| Чисельність персоналу | $Ч_{яв}$ = 16,<br>Чсп = 55 | осіб/добу<br>осіб |
| Норма виробітку | Нв = В/(Ч·Т) = 6701400/(16·365·24) =47,8 | од./люд. годин |
| Оборотні засоби | Об.З = $Ц_{сир.}$ + $Ц_{ел.}$ + $Ц_{опал}$ +ФОП = 59 160 065 | грн./рік |
| Капіталовкладення | К = ОФ + Об.З = 3 335 000 + 59 160 065 = 62 495 065 | грн. |
| Собівартість | $С_П$ = $С_{Вир}$ + Накладні = 2·$С_{Вир}$ + $С_{Ам}$ = 118 954 930 | грн./рік |
| Собівартість за одиницю продукції | $С_1$ = С/В = 118 954 930 / 6701400 = 17,75 | грн./од |
| Ціна | Ц = 22·6701400 = 147 430 800 | грн./рік |
| Прибуток | П = Ц – С = 147 430 800 – 118 954 930 = 28 475 870 | грн./рік |
| Рентабельність | Р = П/С·100% = 28 475 870/ 118 954 930·100% = 24 | **%** |
| Економічний ефект | Е = П/К = 28 475 870/62 495 065 = 0,46 | грн. /грн. |
| Період повернення капіталовкладень | Т = 1/Е = 1/0,46= 2,2 | роки |
| Фондовіддача | ФВ = Ц/ОФ = 147 430 800/ 3 335 000 = 44,47 | грн. /грн. |
| Фондоємність | ФЄ = 1/ ФВ = 1/44,47 = 0,022 | грн. /грн. |

З отриманих результатів можна зробити висновок, що підприємство є вигідним, оскільки має термін повернення капіталовкладень 2,2 роки.

## 5.7 Перерахунок техніко – економічних показників з використанням модернізації

Під час розробки дипломного проекту було спроектовано програмний модуль, метою якого є розрахунок процесу випарювання нітрату амонію без втручання людини. Також проведена автоматизація виробництва. Отже, при застосуванні цих комплексів (автоматизації і програмного модуля) потреба в сировині зменшиться на 1 % і продукція подорожчає на 2 грн. Це можна пояснити тим, що:

1) з'являється можливість випарювання нітрату амонію з більшою концентрацією, що дозволяє отримати якіснішу продукцію.

2) контроль розмірів гранул в гуркоті дозволяє відбирати гранули потрібного розміру, що робить продукцію дорожчою.

Це все відобразиться на техніко-економічних показниках.

Розрахуємо техніко – економічні показники з використанням автоматизації та програмного модуля.

1. Вартість сировини при меншій нормі витрат т./рік наведена у таблиці 5.10

Таблиця 5.10 - Розрахунок вартості сировини

| Назва | Норма витрат т/рік. | Ціна, грн./т | Сума витрат грн./рік |
|---|---|---|---|
| Фосфорна кислота | 2341,55 | 4300 | 10 068 665 |
| Азотна кислота | 790,27 | 7400 | 5 847 998 |
| Аміак | 3222,304 | 7600 | 24 489 510 |
| **Сумарні витрати на сировину $Ц_{сир}$, грн./рік** | | | **40 406 173** |

2. Собівартість нітроамофоски:

$$С_{Ам} = А + Об.З = 317\ 400 + 58\ 922\ 210 = 59\ 239\ 610 \text{ грн/рік.} \quad (5.19)$$

Собівартість виробництва:

$$С_{Вир} = С_{Ам} + Невраховані = С_{Ам} \cdot 0,5 = 29\ 619\ 805 \text{ грн/рік.} \quad (5.20)$$

Собівартість повна:

$$С_{П} = С_{Вир} + Накладні = 2 \cdot С_{Вир} + С_{Ам} = 118479220 \text{ грн/рік.} \quad (5.21)$$

3. Розрахунок техніко-економічних показників

Всі показники були зведені в таблицю 5.11.

Таблиця 5.11 Техніко-економічні показники підприємства

| **Показник** | **Розрахунок** | **Розмірність** |
|---|---|---|
| Випуск продукції | 6701400 | кг./рік |
| Чисельність персоналу | $Ч_{ЯВ} = 16$,<br>$Ч_{СП} = 55$ | осіб/добу<br>осіб |
| Норма виробітку | Нв = В/(Ч·Т) = 6701400/(16·365·24) = 47,8 | од./люд. годин |
| Оборотні засоби | $Об.З = Ц_{сир.} + Ц_{ел.} + Ц_{опал} + ФОП$ = 58 922 210 | грн./рік |
| Капіталовкладення | К = ОФ + Об.З = 3 335 000 + 58 922 210= 62 257 210 | грн. |
| Собівартість | $С_{П} = С_{Вир} + Накладні = 2 \cdot С_{Вир} + С_{Ам}$= 118479220 | грн./рік |
| Собівартість за одиницю продукції | $С_1$ = С/В = 118479220 / 6701400 = 17,6 | грн./од |
| Ціна | Ц = 24·6701400= 160 833 600 | грн./рік |
| Прибуток | П = Ц – С = 160 833 600 – 118479220 = 42 354 380 | грн./рік |
| Рентабельність | Р = П/С·100% = 42 354 380/ 118479220·100% = 35,7 | % |
| Економічний ефект | Е = П/К = 42 354 380/62 257 210= 0,68 | грн. /грн. |
| Період повернення капіталовкладень | Т = 1/Е = 1/0,68= 1,47 | роки |
| Фондовіддача | ФВ = Ц/ОФ = 160 833 600/ 3 335 000= 48,52 | грн. /грн. |
| Фондоємність | ФЄ = 1/ ФВ = 1/48,52 = 0,02 | грн. /грн. |

Порівняння техніко – економічних показників звичайного виробництва та автоматизованого виробництва приведені у таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Порівняння техніко – економічних показників

| **Показники ТЕО** | **Розрахункові дані звичайного виробництва** | **Розрахункові дані автоматизованого виробництва** | **Розмірність** |
|---|---|---|---|
| Випуск продукції | 6701400 | 6701400 | кг/рік |
| Чисельність персоналу | Чяв = 16,<br>Чсп = 55 | Чяв = 16,<br>Чсп = 55 | осіб |
| Собівартість | 118 954 930 | 118 470 220 | грн/рік |
| Ціна | 147 430 800 | 160 833 600 | грн/рік |
| Прибуток | 28 475 870 | 42 354 380 | грн/рік |
| Рентабельність | 24 | 35,7 | % |
| Капіталовкладення | 62 495 065 | 62 257 210 | грн |
| Період повернення капіталовкладень | 2,2 | 1,47 | років |
| Ефективність підприємства | 0,46 | 0,68 | грн/грн |
| Фондовіддача | 44,47 | 48,52 | грн/грн |
| Фондоємність | 0,022 | 0,02 | грн/грн |

Як видно з таблиці 5.12 виробництво, яке керується за допомогою програмного модуля і модернізації, є значно ефективнішим. Рентабельність підприємства збільшилась на 11,7 %, прибуток зріс на 13 878 510 грн/рік, період повернення капіталовкладень зменшився на 0,73 року.

Отже, можна зробити висновок, що автоматизоване виробництво яке керується за допомогою програмного модуля є економічно вигіднішим ніж виробництво без автоматизації.

## 6 Аналіз охорони праці

Розглянутий технологічний об'єкт-процес виробництва нітроамофоски. Під час виробництва використовуються вибухонебезпечні і шкідливі речовини, електро - і теплоенергія. Всі проектні рішення прийняті з урахуванням вимог охорони праці. На підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів розроблені заходи по нормалізації умов праці на робочих місцях та пожежної безпеки [25].

### 6.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів на проектованому об’єкті. Заходи з охорони праці

#### 6.1.1 Повітря робочої зони

Роботи, що виконуються в цеху за важкістю відносять до категорії IIа.

В таблиці 6.1 наведено санітарні та фактичні норми параметрів мікроклімату для робіт, що проводяться в цеху.

Таблиця 6.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату цеху

| Період року | Категорія робіт | Температура, ºС | | Вологість повітря, % | | Швидкість руху повітря, м/с | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Опт. | Допуст. | Опт. | Допуст. | Опт. | Допуст. |
| Холодний | IIа | 18-20 | 15-24 | 40-60 | 75 | 0,2 | 0,3 |
| Теплий | | 21-23 | 17-29 | | 65 | 0,3 | 0,2-0,4 |

З метою забезпечення чистоти робочої зони і нормативних рівнів параметрів мікроклімату були передбачені наступні заходи і засоби: механізація і автоматизація важких і трудомістких робіт; раціональне розміщення обладнання; дистанційне управління апаратами і процесами; теплоізоляція елеменів, що випромінюють на робочих місцях тепло.

В таблиці 6.2 наведено коротку санітарну характеристику підприємства, а саме цеху випарювання нітрату амонію.

Таблиця 6.2 - Санітарна характеристика виробництва

| Назва виробничої дільниці | Цех випарювання нітрату амонію |
|---|---|
| Шкідливі речовини, що виділяються | Нітрат амонію |
| Група шкідливої речовин, характеристика шкідливого впливу | Малонебезпечна речовина. При потраплянні на шкіру викликає роздратування та дерматити |
| ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м$^3$ | 10 |
| Клас небезпечності шкідливої речовини | IV |
| Засоби індивідуального захисту | Комплект спецодягу; окуляри захисні. |
| Засоби долікарняної допомоги | Добре промити місце ураження, викликати швидку медичну допомогу. |
| Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони | Автоматичний стаціонарний сигналізатор і газоаналізатор |
| Клас виробництва згідно СН 245-71 | I |
| Санітарна група виробничого процесу згідно з СНиП 2.09.04-87 | 1в |

### 6.1.2 Виробниче освітлення

Згідно ДБН В. 2.5-28-06 роботи в цеху за зоровими умовами відповідають VIII-б розряду.

В приміщенні цеху передбачено штучне, суміщене, локалізоване і природне освітлення.

Природне освітлення являє собою комбіновану систему верхнього і бічного освітлення. Штучне освітлення реалізовано за допомогою світильників, розташованих у верхній зоні приміщення (загальне освітлення).

В таблиці 6.3 наведено санітарно-гігієнічні норми параметрів освітлення.

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

<table>
<tr><td>Характеристика зорової роботи</td><td colspan="4">Загальне спостереження за ходом виробничого процесу:<br>періодичне при постійному перебуванні людей у приміщенні</td></tr>
<tr><td>Розряд зорової роботи</td><td colspan="4">VIII-б</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Штучне освітлення</td><td rowspan="3">Освітленість, лк</td><td colspan="2">При системі загального освітлення</td><td>100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">При системі комбінованого освітлення</td><td>Всього</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Ут.ч. від загального</td><td>-</td></tr>
<tr><td>Природне освітлення</td><td rowspan="2">КПО, $e_н$, %</td><td>При боковому освітленні</td><td colspan="2">0,3</td></tr>
<tr><td>Суміщене освітлення</td><td>При боковому освітленні</td><td colspan="2">0,7</td></tr>
</table>

У розробленому проекті за функціональним призначенням системи освітлення можна поділити на: робочу, ремонтну, евакуаційну, охоронну і аварійну. Для виконання ремонтних робіт проектом передбачені переносні електричні світильники. При відключенні робочого освітлення передбачається система аварійного освітлення [26].

У вибухонебезпечних зонах проектом передбачено використання пилозахисних люмінесцентних світильників. Для вимірювання і контролю освітленості в приміщеннях застосовують люксметра Ю-117 з частотою

вимірів 1 раз на рік і позачергово після кожного ремонту освітлювальних установок.

Крім виробничого цеху, на виробництві є цех операторів АСУТП. Площа цього приміщення становить 15 м2. В цьому приміщенні розташовані два автоматичних робочих місця (АРМ) оператора-технолога, обладнані ЕОМ [26].

Перевіримо освітленість робочого місця користувача ПК на відповідність розряду зорової роботи. За даними вимірювань рівень природної освітленості поверхні, де розташований ПК, становить 200 лк по освітленості тієї ж поверхні відкритим горизонтом 20000 лк, тобто КПО=1%, що не відповідає нормативному КПО [26].

Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 15м2, ширина якої А складає 3м, довжина В – 5м, висота - 3м [26].

Скористаємося методом використання світлового потоку. Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \qquad (6.1)$$

де F - світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=15м$^2$);

Z - відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку Z = 1,1);

K - коефіцієнт запасу, в нашому випадку K = 1,5);

η - коефіцієнт використання світлового потоку, що характеризується коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{ст.}$) і стелі ($\rho_{стелі}$)), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{ст}$ = 50% і $\rho_{стелі}$ = 50% [26].

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h_p(A+B)} = \frac{15}{1(5+3)} = 1{,}875 \qquad (6.2)$$

де $h_p$ – розрахункова висота підвісу ($h_p = h_1 - h_2$, $h_p$=1м).

Знаючи індекс приміщення I знаходимо значення η = 0,57.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку:

$$F = \frac{300 \cdot 1{,}5 \cdot 15 \cdot 1{,}1}{0{,}57} = 13026 \ Лм \qquad (6.3)$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ-40, світловий потік яких складає F = 3120 Лм. Необхідну кількість ламп у світильниках розрахуємо за формулою:

$$N = \frac{F}{Fл} = \frac{13026}{3120} \approx 4 \qquad (6.4)$$

де N – кількість ламп, що визначається; F - світловий потік; Fл - світловий потік лампи.

В приміщенні використовуються світильники типу НОДЛ. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 2 світильники із 2 працюючими лампами в кожному [26].

Схема розташування світильників в операторській зображена на рисунку 6.1.

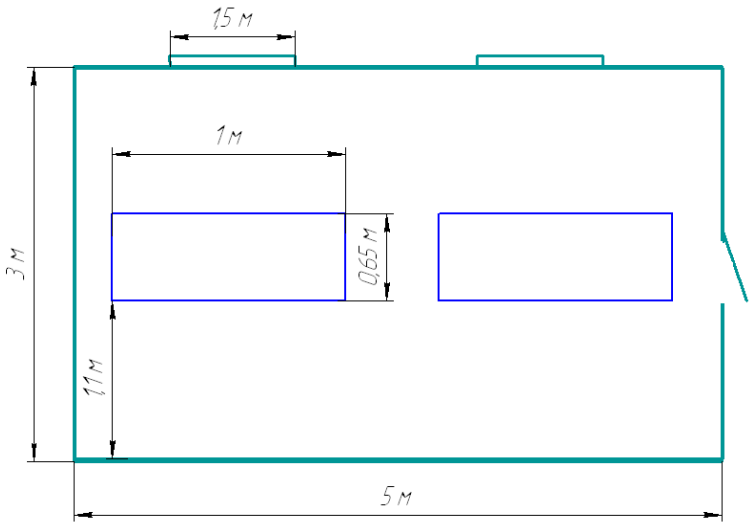



Рисунок 6.1 – Схема розташування світильників в приміщенні

### 6.1.3 Захист від виробничого шуму й вібрацій

Джерелами вібрації на проектованому виробництві є наступне обладнання: електродвигуни, вентилятори. Джерелами шумів на виробництві є реактор, барабанна сушарка, грохоти, дробарка, насоси [26].

У виробничих приміщеннях прийнята норма рівня звуку становить 80 дБА. Фактичне значення рівня звуку в цеху становить 74 дБА, що відповідає вимогам. Допустимий рівень вібрації в приміщенні для 1-го ступеня шкідливості - до 3 дБ, для 2-го ступеня шкідливості - до 3,1 дБ, для 3-го ступеня шкідливості - понад 3,1 дБ. Дане виробництво відноситься до 2-го ступеня шкідливості по вібрації [26].

Для захисту від виробничого шуму на підприємстві передбачені наступні звукоізоляційні заходи і засоби: перегородки, екрани і об'ємні поглиначі звуку у вигляді перфорованих кубів і куль, підвішених над агрегатами, які викликають шум. Для зниження рівня вібрації під вібруюче обладнання встановлюють амортизатори, виготовлені зі сталевих пружин [26].

В якості індивідуальних засобів захисту від шуму передбачені м'які протишумові Вкладиші. Для захисту рук від впливу вібрацій застосовують рукавички зі спеціальними віброзахисними вставками [26].

Для захисту від вібрацій переданих через ноги передбачене взуття товстою гумовою підошвою. Для вимірювання шуму і вібрації використовується вимірювач шуму і вібрації марки ВШВ-003 [26].

### 6.1.4 Електробезпека

Електричне устаткування на виробництві живиться від трифазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Для змінного струму із частотою 50 Гц гранично припустимі значення напруги дотику й струму, що проходить через тіло людини, при аварійному режимі $Iл$ = 6 мА, $Uдот$ = 36

В; при нормальному режимі роботи електричного обладнання *Iл*=0,3 мА, *Uдот* = 2В.

Згідно з порівнюють розрахункове значення із гранично допустимим значенням струму:

$$I_л = \frac{U_ф \cdot 10^3}{R_л + R_о}, \text{мА} \quad (6.5)$$

де *Rл = 2…4* кОм, опір тіла людини; *R0 = 4* Ом, опір нейтралі заземлення;*Uф* =220 В, фазова напруга, В.

$$Iл = \frac{220 \cdot 10^3}{4000 + 4} = 0{,}05 \text{ А} \quad (6.6)$$

Напруга дотику розраховується за формулою:

$$Uд = Iл \cdot Rл \cdot 10^3 = 0{,}05 \cdot 4000 = 220 \text{ В}. \quad (6.7)$$

Таблиця 6.4 – Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом

| Ділянка | Категорія приміщення по електронебезпеці. |
|---|---|
| Виробничий цех | Особливо небезпечне приміщення |
| Побутові приміщення | Приміщення без підвищеної небезпеки |

Для забезпечення електробезпеки передбачені наступні технічні заходи і засоби: занулення, захисне вимикання, малу напругу, ізоляція струмоведучих частин, електричне розділення мереж, знаки безпеки, огороджувальні пристрої, блокування, попереджувальна сигналізація, попереджувальні плакати. Також використовується подвійна ізоляція.

У виробничих приміщеннях передбачена періодична перевірка вибраних типів проводів, освітлювальної арматури, пускачів електродвигунів та іншого електрообладнання.

Для забезпечення індивідуального захисту використовують діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими ручками, покажчики напруги, діелектричні калоші, ізолюючі підставки, гумові килимки, тимчасові огородження, захисні окуляри.

### 6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

У проектованому виробництві використовується різне обладнання: транспортні засоби, мішалки, трубопроводи і реактори, які з точки зору техніки безпеки створюють небезпеку [26].

Для уникнення травм робочих транспортні шляхи, призначені для цехового транспорту і проходи на території підприємства проектуються таким чином, щоб транспорт було видно заздалегідь; або ж використовують звукові сигнали. Конструкцією колони синтезу передбачено зручність і безпеку його обслуговування і ремонту, монтажу і демонтажу механізмі, вузлів і оснастки [26].

Частини компресорів, що нагріваються до температури понад 25 ° С, теплоізольовані або закриті кожухом [26].

Причиною травматизму може бути падіння важких частин оснащення, тому операції знімання і установки форм максимально механізовані [24].

Нітрат амонію це вибухова речовина, однак її критичний діаметр такий великий (для сирої неподрібненому селітри порядку декількох метрів), а сприйнятливість до детонації настільки незначна, що чистий селітру можна обробляти так само, як і нейтральні солі.

Аміачну селітру зберігають в закритих складських приміщеннях, що захищають продукт від попадання атмосферних опадів. При зберіганні продукту насипом не допускати змішування з іншими видами добрив. Не допускати змішування з карбамідом [27].

## 6.2 Пожежна безпека

На проектованої технологічної лінії джерелами пожежі можуть стати: спалах технологічного обладнання, дерев'яні елементи будівель, розпечені або нагріті стінки апаратів і обладнання, іскри електрообладнання. Для запобігання прямих ударів блискавки споруди захищені стрижневими

молниеотводами. У таблиці 6.5 представлені показники пожежо - і вибухонебезпечності різних речовин і матеріалів [28].

Проектом передбачені наступні заходи пожежної безпеки в приміщеннях і біля обладнання наявний протипожежний водопровід, пожежні крани діаметром 50 мм і довжиною рукава 20 м (СНиП 2.09.02-85), застосовуються вуглекислотні ВВК - 2 і пінні ОХП – 10 вогнегасники; у приміщенні є пожежні щити і ємності з піском; змонтована сигналізація з датчиками РП - 50 і СТХ - 174; підтримка опору ізоляції струмоведучих частин; захист ізоляції від теплового, механічного та агресивного впливу [28].

В якості захисту від дії статичної електрики використано заземлення.

Таблиця 6.5 – Показники пожежо- та вибухонебезпеки речовин

| Речовини, які беруть участь у виробництві | | Гума | Машинне масло | Дерево |
|---|---|---|---|---|
| Агрегат .стан речовини при н.у. | | тв. | р. | тв. |
| Горючість, займистість, вибухонебезпечність | | ГГ | ГГ | ГГ |
| Показники пожежо- і вибухоне-безпечності, °С | Температура спалаху | 350 | 290-350 | - |
| | Температура займання | - | - | 395 |
| | Температура самозаймання | 350 | 290-350 | - |
| Межі запалення в обсязі, % | | - | 0,15 | 0,5 |
| Вибухонебезпечні суміші в повітрі | Категорія | - | ПА | ПА |
| | Група | - | Т2 | Т2 |
| Вогнегасні засоби | | ВП-1 | ВХП-10 | ВВК-2 ВХП-10 |
| Категорія приміщення по СНТП 24-86 | | Б | | |
| Клас приміщення за ПБЕ | | П IIб | | |
| Категорія об'єкта й тип зони захисту по пристрої молниезащ. по СН 305-77 | | IIб | | |

## ВИСНОВКИ

В даному бакалаврському проекті був розглянутий процес випарювання нітрату амонію, і як наслідок отримання нітроамофоски. Під час роботи було розглянуто та вирішено наступні задачі:

1. За допомогою програми ChemCad 7.1.2 виконано комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів схеми.

2. Відповідно до технічного завдання розроблено обчислювальний модуль для проектного розрахунку основних конструктивних параметрів плівкового випарного апарату.

3. Виходячи з аналізу основних технологічних параметрів виробництва, була розроблена схема автоматизації, та підібрані необхідні комплекти приладів.

4. Визначено основні джерела екологічної небезпеки виробництва та методи запобігання викиду шкідливих речовин.

5. Проведено розробку підприємства з виробництва нітроамофоски і обрахунком всіх техніко-економічних показників.

**Список використаних джерел**


1. Нітроамофоска: плюси і мінуси. URL: https://uak.com.ua/nitroamofoska-plyusi-i-minusi (дата звернення 4.04.2019).
2. Мінеральне добриво нітроамофоска – застосування в сільському господарстві. URL: https://dobriva.dp.ua/uk/mineralne-dobrivo-nitroamofoska-zastosuvannya-v-silskomu-gospodarstvi/ (дата звернення 5.04.2019).
3. Технология производства нитроаммофоски. URL: https://studopedia.org/1-8444.html (дата звернення 28.05.2019).
4. Мельников Е. Я., Салтанова В. П., Наумова А. М., Блинова Ж. С. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений: Учебник для техникумов. – М.: Химия, 1983. 432 с.
5. Кузнецова, И. М., Харлампиди Х. Э., Батыршин Н.Н. ОХТ Материальный баланс химико-технологического процесса. – М.: Логос, 2007. 264 с.
6. За ред. Д. І. Дмитрієвського. Технологія лікарських препаратів промислового виробництва. URL: https://buklib.net/books/36204/ (дата звернення 10.03.2019).
7. Чернобыльский И. И. Выпарные установки. Вища школа, 1970. 244 с.
8. Конструкції випарних апаратів. URL: https://studfiles.net/preview/5465346/page:14/ (дата звернення 28.05.2019).
9. Автоматизація виробництва. URL: http://leksika.com.ua/14590704/ure/avtomatizatsiya_virobnitstva (дата звернення 4.05.2019).
10. Приклади побудови умовних позначень окремих 2 страница. URL: https://studopedia.info/5-73697.html (дата звернення 10.05.2019).
11. Термоперетворювачі опору ТСП/М-1187. URL: http://standart-m.com.ua/kipia/termopreobrazovateli/termopreobrazovateli-

soprotivleniya/termopreobrazovateli-soprotivleniya--tspm-1187/?mova=uk (дата звернення 15.05.2019).

12. Приборы, автоматика, системы и оборудование для контроля и регулирования параметров технологических процессов (КИПиА, АСУ ТП). URL: http://teplokip.narod.ru/ (дата звернення 15.05.2019).
13. ГК «Теплоприбор» – разработка, производство и комплексная поставка контрольно-измерительных приборов и автоматики — КИПиА. URL: http://xn--90ahjlpcccjdm.xn--p1ai/produktsiya/ (дата звернення 16.05.2019).
14. УПС-1. URL: http://www.kaskad-electro.ru/magazin/tag/%D0%A3%D0%9F%D0%A1+1 (дата звернення 16.05.2019).
15. ПИД-регулятор МТМ-620. URL: http://ukrsk.com.ua/pidr_mtm.html (дата звернення 18.05.2019).
16. Оборудование КИПиА - датчики давления, уровнемеры, манометры, расходомеры, газоанализаторы, теплосчетчики, датчики уровня, преобразователи давления, каталог. URL: https://rizur.ru/catalog/ (дата звернення 18.05.2019).
17. Датчики влажности, терморегуляторы, термопары. КИПиА от производителя, каталог. URL: https://relsib.com/katalog (дата звернення 24.05.2019).
18. КИПиА - контрольно измерительные приборы: датчики, контроллеры, регуляторы, измерители, терморегуляторы. Датчики температуры, давления и уровня производство КиП ОВЕН Украина Харьков. Каталог. URL: https://owen.ua/ (дата звернення 24.05.2019).
19. Нітроамофоска. Вікіпедія — вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Нітроамофоска (дата звернення 24.05.2019).
20. Гриньова В.М., Салун М.М. Організація виробництва: Виробничий процес і організаційні типи виробництва. URL:

https://pidruchniki.com/12461220/ekonomika/virobnichiy_protses_organizatsiyni_tipi_virobnitstva (дата звернення 15.05.2019).

21. КЛ з організації, планування та управління. Види руху предметів праці. URL: http://bookwu.net/book_kl-z-organizaci-planuvannya-ta-upravlinnya_977/25_3.6.-vidi-ruhu-predmetiv-praci (дата звернення 15.05.2019).
22. Економіка праці та соціально-трудові відносини. Методи планування чисельності персоналу. URL: https://buklib.net/books/27958/ (дата звернення 15.05.2019).
23. Організація контролю якості продукції. URL: https://pidruchniki.com/15890315/ekonomika/organizatsiya_kontrolyu_yakosti_produktsiyi (дата звернення 15.05.2019).
24. Оборотні активи та їх організація на підприємствах. URL: https://pidruchniki.com/1463062153094/finansi/oborotni_aktivi_organizatsiya_pidpriyemstvah (дата звернення 18.05.2019).
25. Пожежонебезпечна характеристика об’єктів. URL: https://pidruchniki.com/1342012039049/bzhd/pozhezhonebezpechna_harakteristika_obyektiv (дата звернення 28.05.2019).
26. Орленко А. Т., Фоменко І. О., Полукаров Ю. О., Праховнік Н.А. Методичні вказівки щодо загальних вимог з охорони праці до технологічних процесів і обладнання при переробці пластмас у вироби. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 30 с.
27. Законодавство про охорону праці. URL: https://refdb.ru/look/1076513-pall.html (дата звернення 28.05.2019).
28. Кукин П. П., Лапин В. Л., Пономарев Н. Л. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. М.: Вища школа, 2001. 319 с.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

## Результати розрахунку матеріальних балансів в ChemCAD 7.1.2

STREAM PROPERTIES

| Stream No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Name | NH3 | NH3 | NH3 | HNO3 |
| - - Overall - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | 0.1204 | 0.0348 | 0.0641 | 0.0214 |
| Mass flow kg/sec | 2.0500 | 0.5927 | 1.0924 | 1.3500 |
| Temp C | 30.0000 | 30.0000 | 30.0000 | 50.0000 |
| Pres Pa | 101325.0000 | 101325.0000 | 101325.0000 | 101325.0000 |
| Vapor mole fraction | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.0000 |
| Enth MJ/sec | -5.5033 | -1.5911 | -2.9325 | -3.6569 |
| Tc C | 132.5000 | 132.5000 | 132.5000 | 246.8500 |
| Pc Pa | 11278483.0000 | 11278483.0000 | 11278483.0000 | 6890100.0000 |
| Std. sp gr. wtr = 1 | 0.619 | 0.619 | 0.619 | 1.525 |
| Std. sp gr. air = 1 | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 2.176 |
| Degree API | 97.1315 | 97.1314 | 97.1314 | -38.7253 |
| Average mol wt | 17.0310 | 17.0310 | 17.0310 | 63.0130 |
| Actual dens kg/m3 | 0.6900 | 0.6900 | 0.6900 | 1466.5839 |
| Actual vol m3/h | 10695.9336 | 3092.3110 | 5699.5117 | 3.3138 |
| Std liq m3/h | 11.9244 | 3.4475 | 6.3541 | 3.1865 |
| Std vap 0 C m3/h | 9712.4482 | 2807.9746 | 5175.4443 | 1728.6960 |
| - - Vapor only - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | 0.1204 | 0.0348 | 0.0641 | |
| Mass flow kg/sec | 2.0500 | 0.5927 | 1.0924 | |
| Average mol wt | 17.0310 | 17.0310 | 17.0310 | |
| Actual dens kg/m3 | 0.6900 | 0.6900 | 0.6900 | |
| Actual vol m3/h | 10695.9336 | 3092.3110 | 5699.5117 | |
| Std liq m3/h | 11.9244 | 3.4475 | 6.3541 | |
| Std vap 0 C m3/h | 9712.4482 | 2807.9746 | 5175.4443 | |
| Cp J/kmol-K | 35687.9258 | 35687.9258 | 35687.9258 | |
| Z factor | 0.9924 | 0.9924 | 0.9924 | |
| Visc Pa-sec | 1.031e-005 | 1.031e-005 | 1.031e-005 | |
| Th cond W/m-K | 0.0255 | 0.0255 | 0.0255 | |
| - - Liquid only - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | | | | 0.0214 |
| Mass flow kg/sec | | | | 1.3500 |
| Average mol wt | | | | 63.0130 |
| Actual dens kg/m3 | | | | 1466.5839 |
| Actual vol m3/h | | | | 3.3138 |
| Std liq m3/h | | | | 3.1865 |
| Std vap 0 C m3/h | | | | 1728.6960 |
| Cp J/kmol-K | | | | 109674.9688 |
| Z factor | | | | 0.0024 |
| Visc Pa-sec | | | | 0.0006059 |
| Th cond W/m-K | | | | 0.2950 |
| Surf. tens. N/m | | | | 0.0364 |

Flow rates in kg/sec

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Phosphoric Acid | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Nitric Acid | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.3500 |
| Ammonia | 2.0500 | 0.5927 | 1.0924 | 0.0000 |
| Water | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Ammonium Nitrate | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| NH4 Phosphate | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| Stream No. | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|
| Name | NH4NO3 | H2O | NH3 | H3PO4 |
| - - Overall - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | 0.0214 | 0.3275 | 0.0214 | 0.0348 |
| Mass flow kg/sec | 1.7149 | 5.9000 | 0.3649 | 3.4100 |
| Temp C | 120.0000 | 180.0000 | 30.0000 | 30.0000 |
| Pres Pa | 101325.0000 | 911925.0000 | 101325.0000 | 131325.0000 |
| Vapor mole fraction | 0.0000 | 1.000 | 1.000 | 0.0000 |
| Enth MJ/sec | -9.0404 | -77.750 | -0.97970 | -46.692 |
| Tc C | 2504.5923 | 374.2000 | 132.5000 | 756.8500 |
| Pc Pa | 693678.0000 | 22118230.0000 | 11278483.0000 | 5070000.0000 |
| Std. sp gr. wtr = 1 | 1.410 | 1.000 | 0.619 | 1.834 |
| Std. sp gr. air = 1 | 2.763 | 0.622 | 0.588 | 3.384 |
| Degree API | -31.1600 | 10.0000 | 97.1314 | -54.3462 |
| Average mol wt | 80.0308 | 18.0150 | 17.0310 | 97.9950 |
| Actual dens kg/m3 | 1408.8466 | 4.5685 | 0.6900 | 1866.0277 |
| Actual vol m3/h | 4.3821 | 4649.1821 | 1904.1115 | 6.5787 |
| Std liq m3/h | 4.3779 | 21.2400 | 2.1228 | 6.6936 |
| Std vap 0 C m3/h | 1729.0294 | 26426.0820 | 1729.0294 | 2807.7957 |
| - - Vapor only - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | | 0.3275 | 0.0214 | |
| Mass flow kg/sec | | 5.9000 | 0.3649 | |
| Average mol wt | | 18.0150 | 17.0310 | |
| Actual dens kg/m3 | | 4.5685 | 0.6900 | |
| Actual vol m3/h | | 4649.1821 | 1904.1115 | |
| Std liq m3/h | | 21.2400 | 2.1228 | |
| Std vap 0 C m3/h | | 26426.0820 | 1729.0294 | |
| Cp J/kmol-K | | 34745.9297 | 35687.9258 | |
| Z factor | | 0.9546 | 0.9924 | |
| Visc Pa-sec | | 1.556e-005 | 1.031e-005 | |
| Th cond W/m-K | | 0.0328 | 0.0255 | |
| - - Liquid only - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | 0.0214 | | | 0.0348 |
| Mass flow kg/sec | 1.7149 | | | 3.4100 |
| Average mol wt | 80.0308 | | | 97.9950 |
| Actual dens kg/m3 | 1408.8464 | | | 1866.0277 |
| Actual vol m3/h | 4.3821 | | | 6.5787 |
| Std liq m3/h | 4.3779 | | | 6.6936 |
| Std vap 0 C m3/h | 1729.0294 | | | 2807.7957 |
| Cp J/kmol-K | 8993.1748 | | | 146276.9063 |
| Z factor | 0.0907 | | | 0.0083 |
| Visc Pa-sec | 0.004102 | | | 0.1508 |
| Th cond W/m-K | 0.2230 | | | 0.4292 |
| Surf. tens. N/m | 0.0078 | | | 0.0678 |

Flow rates in kg/sec

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Phosphoric Acid | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 3.4100 |
| Nitric Acid | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Ammonia | 0.0001 | 0.0000 | 0.3649 | 0.0000 |
| Water | 0.0000 | 5.9000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Ammonium Nitrate | 1.7149 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| NH4 Phosphate | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| Stream No. | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|
| Name | NH4H2PO4 | | NH4NO3 | |
| - - Overall - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | 0.0348 | 0.3307 | 0.0182 | 0.3489 |
| Mass flow kg/sec | 4.0027 | 6.1573 | 1.4576 | 7.6149 |
| Temp C | 115.0000 | 150.2668 | 140.0000 | 150.2668 |
| Pres Pa | 101325.0000 | 101325.0000 | 101325.0000 | 101325.0000 |
| Vapor mole fraction | 0.0000 | 1.000 | 0.0000 | 0.9359 |
| Enth MJ/sec | -51.863 | -78.960 | -7.6808 | -86.790 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tc C | 2504.6162 | 643.5232 | 2504.6277 | 1420.3040 |
| Pc Pa | 691382.0000 | 83708440.0000 | 690248.0000 | |
| 213429344.0000 | | | | |
| Std. sp gr. wtr = 1 | 5.603 | 1.012 | 1.410 | 1.070 |
| Std. sp gr. air = 1 | 3.971 | 0.643 | 2.764 | 0.754 |
| Degree API | -106.2435 | 8.2813 | -31.1653 | 0.7305 |
| Average mol wt | 115.0198 | 18.6177 | 80.0430 | 21.8234 |
| Actual dens kg/m3 | 5406.1367 | 0.5430 | 1408.9969 | 0.6811 |
| Actual vol m3/h | 2.6654 | 40820.7617 | 3.7242 | 40247.5586 |
| Std liq m3/h | 2.5720 | 21.8971 | 3.7209 | 25.6179 |
| Std vap 0 C m3/h | 2807.9746 | 26685.7246 | 1469.3915 | 28155.1133 |
| - - Vapor only - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | | 0.3307 | | 0.3266 |
| Mass flow kg/sec | | 6.1573 | | 6.1153 |
| Average mol wt | | 18.6177 | | 18.7252 |
| Actual dens kg/m3 | | 0.5430 | | 0.5470 |
| Actual vol m3/h | | 40820.7617 | | 40243.6133 |
| Std liq m3/h | | 21.8971 | | 21.7016 |
| Std vap 0 C m3/h | | 26685.7246 | | 26351.3594 |
| Cp J/kmol-K | | 34124.4102 | | 34064.6953 |
| Z factor | | 0.9869 | | 0.9853 |
| Visc Pa-sec | | 1.180e-005 | | 1.145e-005 |
| Th cond W/m-K | | 0.0253 | | 0.0247 |
| - - Liquid only - - | | | | |
| Molar flow kmol/sec | 0.0348 | | 0.0182 | 0.0224 |
| Mass flow kg/sec | 4.0027 | | 1.4576 | 1.4997 |
| Average mol wt | 115.0198 | | 80.0430 | 67.0863 |
| Actual dens kg/m3 | 5406.1367 | | 1408.9969 | 1367.7412 |
| Actual vol m3/h | 2.6654 | | 3.7242 | 3.9473 |
| Std liq m3/h | 2.5720 | | 3.7209 | 3.9163 |
| Std vap 0 C m3/h | 2807.9746 | | 1469.3915 | 1803.7543 |
| Cp J/kmol-K | 142352.5156 | | 9027.8232 | 23414.1836 |
| Z factor | 0.0918 | | 0.0863 | 0.0670 |
| Visc Pa-sec | 0.0006277 | | 0.004106 | 0.002134 |
| Th cond W/m-K | 0.8158 | | 0.2219 | 0.2420 |
| Surf. tens. N/m | 0.0079 | | 0.0078 | 0.0093 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Flow rates in kg/sec | | | | |
| Phosphoric Acid | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Nitric Acid | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Ammonia | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 |
| Water | 0.0000 | 5.9000 | 0.0000 | 5.9000 |
| Ammonium Nitrate | 0.0000 | 0.2572 | 1.4576 | 1.7149 |
| NH4 Phosphate | 4.0026 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

**Додаток Б**

## Специфікація устаткування

Таблиця Б.1 – Специфікація устаткування

| *Позиція на схемі* | *Назва параметра* | *Місце відбору інформації* | *Граничне значення параметра* | *Місце монтажу* | *Назва, технічна характеристика* | *Тип, марка моделі* | *Завод-виробник* | *К-ть* | *Ком-плект* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5-1, 9-1, 12-1, 18-1, 24-1, 27-1, 29-1 | Температура | Трубопровід | 35-190 ºС | Трубопровід | Термометр опору мідний; вихідний сигнал: 4..20мА; межі вимірювання: -50…+200 ºС; межа похибки: ±1 %. | ТСМ-1293-01 | ГК Теплоприбор, м. Москва | 7 | - |
| 5-2, 9-2, 12-2, 18-2, 24-2, 27-2, 29-2 | Температура | Трубопровід | 4…20 мА | Щит керування | Електричний ПІД-регулятор; вхідний сигнал 4 - 20 мА; вихідний: 4..20мА; напруга живлення: 12...36 В; клас точності 0,25. | МТМ 620 | ТОВ НВП “Микротерм”, м. Сєвєродонецьк | 7 | - |
| 3-1, 20-1 | Витрата | Трубопровід | 6497-6561 м$^3$/год | Трубопровід | Діафрагма камерна; $P_у$ = 0,6 МПа; $D_{тр}$ = 100 мм. | ДКС 0,6-100 | ВАТ “Промприлад”, м. Івано-Франківськ | 3 | - |
| 1-1 | Витрата | Трубопровід | 8995-9455 м$^3$/год | Трубопровід | Діафрагма камерна; $P_у$ = 0,6 МПа; $D_{тр}$ = 125 мм. | ДКС 0,6-125 | ВАТ “Промприлад”, м. Івано-Франківськ | 2 | - |
| 7-1, 13-1, 22-1 | Витрата | Трубопровід | 4588-4872 м$^3$/год | Трубопровід | Діафрагма камерна; $P_у$ = 0,6 МПа; $D_{тр}$ = 80 мм. | ДКС 0,6-80 | ВАТ “Промприлад”, м. Івано-Франківськ | 1 | - |
| 1-2, 3-2, 7-2, 13-2, 20-2, 22-2 | Витрата | Трубопровід | 20-100 кПа | Місцевий | Дифманометр безшкальний з квадратичною функцією перетворення; Pmax = 40кПа; клас точн. 1;Рвих = 20…100 кПа | 13ДД11 | ВО “Теплоприбор”, м. Рязань | 6 | - |

Продовження таблиці Б.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-3, 3-3, 7-3, 13-3, 20-3, 22-3 | Витрата | Трубопровід | 4…20 мА | Щит керуванняя | Прилад вторинний пневматичний показувальний реєструвальний зі станцією керування; Рвх = 20…100 кПа | ФК0071 | ВАТ “ТИЗПРИБОР”, м. Москва | 6 | - |
| 17-1, 17-2 | Рівень | Збірник | 0,9-1,1 м | Місцевий | Електронний регулятор-сигналізатор рівня рідини; $T_{max}$ = 200 ºС; Pmax = 2,5 МПа; вихідний сигнал 4…20 мА. | ЕРСУ-3Р | ПНВП «Промприлад» м. Житомир | - | 1 |
| 11-1, 16-1 | Концентрація | Трубопровід | 94,5–95,5 % | Трубопровід | Аналізатор рідини кондуктометричний; похибка показань ±0,05%; Т = +5…+95 ºС; Pmax = 1,5 МПа; вихідний сигнал 4…20 мА | АЖК-3101М | ООО ”ЗАВОД УКРМАШПРОМ” м.Харків | - | 2 |
| 15-1 | Тиск | Випарний апарат2 | 471-481 кПа | Місцевий | Датчик тиску з діапазоном вимірювання 16 кПа до 10МПа, вих. сигнал: 4-20 мА. Похибка ±1,5% | СР-100 | «Kimo Instruments», м. Монпон (Франція) | 1 | - |
| 15-2 | Тиск | Випарний апарат | 4…20 мА | Щит керування | Показуючий та сигналізуючий прилад KIMO CP 204-MO з дисплеєм. Напруга живлення: 115В ± 10% | KIMO CP 204-MO | «Kimo Instruments», м. Монпон (Франція) | 1 | - |
| 26-1, 26-2 | Вологість | Трубопровід | 0,497-0,503% | Трубопровід | Комплект для вимірювання вологості: датчик ДВ2ТСМ-5Т-5П-АК, вторинний перетворювач, вимірюючий блок. Робочий діапазон вологості: 0-99,9%; межа похибки: ± 1% | ИВА-6Б2-К | ТОВ НВП Техноприбор» м. Москва | - | 1 |
| HL1, HL2 | - | - | 220 В | Щит керування | Лампа електрична сигнальна | СЛ-2001 | АСКО-УКРЕМ м. Запоріжжя | 2 | - |

**Додаток В**

**Код програми**

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Diagnostics;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Diplom
{

    public partial class Form1 : Form
    {
        Form2 Acces_to_Form2 = new Form2();
        Form3 Acces_to_Form3 = new Form3();
        Form4 Acces_to_Form4 = new Form4();

        string [] Array_for_Print =
            {
            "1.1.    Масова витрата вихідного розчину, кг/с:",
            "1.2.    Масова витрата кінцевого розчину, кг/с:",
            "1.3.    Масова витрата випарюваної води, кг/с:",
            "2.1.    Тиск в паровій камері апарату, Па:",
            "2.2.    Температура в паровій камері, С:",
            "2.3.    Температурна депресія, С:",
```

"2.4. Температура на виході з апарату, С:",

"2.5. Густина розчину кінцевої концентрації, кг/м3:",

"2.6. Густина води при температурі кипіння розчину, кг/м3:",

"2.7. Приймемо робочу поверхню труб в апараті, м:",

"2.8. Оптимальна висота рівня розчину при природній циркуляції, м:",

"2.9. Тиск в трубах апарату, Па:",

"2.10. Температура кипіння розчину в трубках, С:",

"2.11. Депресія від гідростатичного ефекту, С:",

"2.12. Гідравлічна депресія, С:",

"2.13. Теплоємність початкового розчину, Дж/кг*С:",

"2.14. Теплоємність кінцевого розчину, Дж/кг*С:",

"2.15. Температура при вході в апарат, С:",

"2.16. Витрата теплоти на нагрівання розчину (теплота самовипаровування), Вт:",

"2.17. Питома ентальпія вторинної пари на виході з апарату при температурі в паровій камері, Дж/кг:",

"2.18. Теплоємність при температурі конденсації, Дж/кг*С:",

"2.19. Витрата теплоти на випаровування, Вт:",

"2.20. Витрата теплоти на втрати в навколишнє середовище, Вт:",

"2.21. Витрата теплоти на випаровування, Вт:",

"2.22. Сума температурних втрат, С:",

"3.1 Приймемо температуру гріючої пари, С:",

"3.2 Теплота конденсації гріючої пари, Дж/кг;",

"3.3 При вологості 5% витрата гріючої пари, кг/с:",

"3.4 Загальна різниця температур, С:",

"3.5 Корисна різниця температур, С:",

"3.6 Приймемо температуру зовнішньої поверхні труб рівній, С:",

"3.7 Густина розчину в трубах при середній температурі, кг/м3:",

"3.8 В'язкість розчину в трубах при середній температурі, Па*с:",

"3.9 Теплопровідність розчину в трубах при середній температурі, Вт/кг*С:",

"3.10 Густина пари при середній температурі кипіння, кг/м3:",

"3.11 Коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м:",

"3.12 Значення допоміжної функції:",

"3.13 Коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб, Вт/м2*С:",

"3.14 Товщина стінки труб, м:",

"3.15 Середня різниця температур, С:",

"3.16 Коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючого пару до поверхності труб початковий, Вт/м2*К:",

"3.17 Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труб до киплячого розчину початковий, Вт/м2*К:",

"3.18 Коефіцієнт теплопередачі початковий, Вт/м2*К:",

"3.19 Теплопередача початкова, Вт/м2:",

"3.20 Різниця температури конденсації, К:",

```
    }; //Де прописуються рядки назв параметрів
  private void My_znach_Click(object sender, EventArgs e)
  {
    x0.Text = Convert.ToString(80);
    x1.Text = Convert.ToString(95);
    G0.Text = Convert.ToString(1.715);
    Pparkam.Text = Convert.ToString(476);
    H.Text = Convert.ToString(4);
    t0roz.Text = Convert.ToString(120);
    ivt.Text = Convert.ToString(2780000);
```

```
            r.Text = Convert.ToString(1985000);
            rpsr.Text = Convert.ToString(6.394);
            sigma.Text = Convert.ToString(0.04219);
            koefteploprov.Text = Convert.ToString(46.5);
            tovstinki.Text = Convert.ToString(0.002);
        } //Вписування початкових значень

        private void Run_rozr_Click(object sender, EventArgs e) //Запуск
расчёта с меню
        {
            zapusk_rozrah_Click(sender, e);
        }

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        public void Save_to_File_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Acces_to_Form2.Save_to_File_Click(sender, e);
        } //Збереження в файл з меню

        private void Open_Our_File_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (openFileDialog1.ShowDialog() == DialogResult.Cancel)
                return;
            // Відкриття збереженого файлу
            string filename = openFileDialog1.FileName;
            // Читаємо файл в рядок
```

```
    Process.Start(filename);

} //Відкрити файл з меню

private void About_Programm_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Acces_to_Form3.ShowDialog();
} //Інформацію про програму

private void Exit_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Close();
} //Вихід з програми з меню

private void play_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Run_rozr_Click(sender, e);
} //Запуск розрахунку кнопкою

private void Show_Form2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Acces_to_Form2.ShowDialog();
} //Доступ до 2-ї форми при натисканні
private void Show_blocshema_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Acces_to_Form4.ShowDialog();
}// Доступ до 4-ї форми при натисканні
private void Clear_TextBox_Click(object sender, EventArgs e)
{
    t1_box.Text = "";
```

```
    textBox24.Text = "";
    textBox36.Text = "";
    textBox39.Text = "";
    x0.Text = "";
    x1.Text = "";
    G0.Text = "";
    Pparkam.Text = "";
    H.Text = "";
    t0roz.Text = "";
    ivt.Text = "";
    r.Text = "";
    rpsr.Text = "";
    sigma.Text = "";
    koefteploprov.Text = "";
    tovstinki.Text = "";
} //Очистка введенних значень

private void info_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
    About_Programm_Click(sender, e);
} //Інформацію про програму кнопкою

private void write_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
    My_znach_Click(sender, e);
} //Введення стандартних значень кнопкою

private void delete_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Clear_TextBox_Click(sender, e);
```

```
} //Видалення параметрів кнопкою

private void save_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
   Save_to_File_Click(sender, e);
} //Збереження у файл кнопкою

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
   Exit_Click(sender, e);
} //Вихід з програми кнопкою

double x_0, x_1, G_0, Pparcam, H_roz, t_0;
double Gk, W, t1, delta_T_depr, T_kon, RRK, RVK, H_opt, PSR, t_Kip_Sr, del_T_gef, del_T_gs, CN, CK, T_nach, Q_nagr, PSR1;

private void zapusk_rozrah_Click(object sender, EventArgs e) //Запуск першої частини розрахунку
{
   x_0 = Convert.ToDouble(x0.Text)/100;
   x_1 = Convert.ToDouble(x1.Text)/100;
   G_0 = Convert.ToDouble(G0.Text);
   Pparcam = Convert.ToDouble(Pparkam.Text)*1000;
   H_roz = Convert.ToDouble(H.Text);
   t_0 = Convert.ToDouble(t0roz.Text);

#region Obrahunok //Регіон, в якому обчислюється перша частина розрахунків
   Gk = Math.Round(G_0 * (x_0 / x_1), 3);
   W = Math.Round(G_0 - Gk, 3);
```

```
t1 = Math.Round((1669.6 / (10.088 - Math.Log10(Pparcam) + Math.Log10((-0.171 * Math.Pow(x_1, 2)) - (0.445 * x_1) + 1))) - 228.4, 3);
delta_T_depr = Math.Round(t1 - ((1669.6 / (10.088 - Math.Log10(Pparcam))) - 228.4), 3);
T_kon = Math.Round(t1 + delta_T_depr, 3);
RRK = Math.Round(Math.Pow(10, (Math.Log10(1000 - (0.062 * T_kon) - 0.00355 * Math.Pow(T_kon, 2))+(0.422132 + (0.0004246 * T_kon) - 0.0000038714 * Math.Pow(T_kon, 2)) * x_1)), 3);
RVK = Math.Round(Math.Pow(10, (Math.Log10(1000 - (0.062 * T_kon) - 0.00355 * Math.Pow(T_kon, 2)) + (0.422132 + (0.0004246 * T_kon) - 0.0000038714 * Math.Pow(T_kon, 2)) * 0)),3);
H_opt = Math.Round((0.26 + 0.0014 * (RRK - RVK)) * H_roz, 3);
PSR = Math.Round(Pparcam + 0.5 * RRK * 9.81 * H_opt,3);
PSR1 = Math.Round(Pparcam + RRK * 9.81 * H_opt,3);
t_Kip_Sr = Math.Round((1669.6 / (10.088 - Math.Log10(PSR) + Math.Log10((-0.171 * Math.Pow(x_1, 2)) - (0.445 * x_1) + 1))) - 228.4,3); ;
del_T_gef = Math.Round(t_Kip_Sr - t1,3);
del_T_gs = 1;
CN = Math.Round(4223.6 + (2.476 * t_0 * Math.Log10(t_0 / 100)) + ((-4187.41 + (4760.1 * x_0) + (6.66 * t_0) - (0.00825 * Math.Pow(t_0, 2))) * x_0),3);
CK = Math.Round(4223.6 + (2.476 * T_kon * Math.Log10(T_kon / 100)) + ((-4187.41 + (4760.1 * x_1) + (6.66 * T_kon) - (0.00825 * Math.Pow(T_kon, 2))) * x_1),3);
T_nach = Math.Round(((1669.6 / (10.088 - Math.Log10(PSR1) + Math.Log10((-0.171 * Math.Pow(x_0, 2)) - (0.445 * x_0) + 1))) - 228.4) - 15,3);
Q_nagr = Math.Round(G_0 * CN * (T_kon - T_nach),3);
#endregion
t1_box.Text = Convert.ToString(t1);
textBox24.Text = Convert.ToString(T_nach);
textBox36.Text = Convert.ToString(t_Kip_Sr);
```

```
            textBox39.Text = Convert.ToString(t_Kip_Sr);

        }

        double i_vt, r_0, r_psr, sigma_0, koef_teploprov, tov_stinki;
        double CV, Qisp, Qpot, Q, del_T_pot, G_gp, del_T_zag, t_gp, del_T_pol,
t_stn, r_rsr, M_rsr, lamda_rsr, b, del_T_sr;
        double a_cond, a_kipa, a_kip, K_ish, q_ish, F, koef, poh;
        int iter1 = 0; int iter = 0;
        List<Double> T_str = new List<Double> { };
        List<Double> ar_cond = new List<Double> { };
        List<Double> qr_cond = new List<Double> { };
        List<Double> delr_T_st = new List<Double> { };
        List<Double> Tr_st2 = new List<Double> { };
        List<Double> del_T_kipr = new List<Double> { };
        List<Double> a_kipr = new List<Double> { };
        List<Double> q_kipr = new List<Double> { };
        List<Double> Kr = new List<Double> { };
        List<Double> qr = new List<Double> { };
        List<Double> del_T_condr = new List<Double> { };
        List<Double> pohr = new List<Double> { };
        private void zapusk_rozrah1_Click(object sender, EventArgs e) //Запуск
другої частини розрахунків
        {
            i_vt = Convert.ToDouble(ivt.Text);
            r_0 = Convert.ToDouble(r.Text);
            r_psr = Convert.ToDouble(rpsr.Text);
            sigma_0 = Convert.ToDouble(sigma.Text);
            koef_teploprov = Convert.ToDouble(koefteploprov.Text);
            tov_stinki = Convert.ToDouble(tovstinki.Text);
```

```
#region Obrahunok1 //Регіон, в якому обчислюється друга частина розрахунку
CV = Math.Round(4223.6 + (2.476 * T_kon * Math.Log10(T_kon / 100)),3);
Qisp = Math.Round(W * (i_vt - (CV * T_kon)),3);
Qpot = Math.Round(0.05 * (Q_nagr + Qisp),3);
Q = Math.Round(Q_nagr + Qisp + Qpot,3);
del_T_pot = Math.Round(delta_T_depr + del_T_gef + del_T_gs,3);
t_gp = Math.Round(t_Kip_Sr + 15,3);
G_gp = Math.Round(Qisp / (0.95 * r_0),3);
del_T_zag = Math.Round(t_gp - t1 + del_T_gs,3);
del_T_pol = Math.Round(t_gp - t_Kip_Sr,3);
t_stn = Math.Round(t_gp - 5,3);
r_rsr = Math.Round(Math.Pow(10, (Math.Log10(1000 - (0.062 * t_Kip_Sr) - 0.00355 * Math.Pow(t_Kip_Sr, 2)) + (0.422132 + (0.0004246 * t_Kip_Sr) - 0.0000038714 * Math.Pow(t_Kip_Sr, 2)) * x_1)),3);
M_rsr = Math.Round(Math.Pow(10, (Math.Log10(0.59859 * Math.Pow((43.252 + t_Kip_Sr), -1.5423)) + (3.1088 - (0.013483 * t_Kip_Sr) - 0.00000291419 * Math.Pow(t_Kip_Sr, 2)) * x_1)),6);
lamda_rsr = Math.Round((0.5545 + (0.00246 * t_Kip_Sr) - 0.00001184 * Math.Pow(t_Kip_Sr, 2)) * (1 - (0.14384 * x_1)),6);
b = Math.Round(0.075 + (0.75 * Math.Pow((r_psr / (r_rsr - r_psr)), 0.666667)),3);
del_T_sr = Math.Round(T_kon - t_Kip_Sr,3);
a_cond = Math.Round((2.04 * 7460) / (Math.Pow(H_roz, 0.25)),3);
a_kipa = Math.Round(b * Math.Pow(((Math.Pow(lamda_rsr, 2) * r_rsr) / (M_rsr * sigma_0 * t_Kip_Sr)), 0.3333333),3);
a_kip = Math.Round(a_kipa * Math.Pow(a_cond, 0.6666667),3);
```

```
koef = 1785;
K_ish = Math.Round(1 / ((1 / a_cond) + (1 / a_kip) + (1 / koef)),3);
q_ish = Math.Round(K_ish * del_T_sr,3);

del_T_condr.Add(Math.Round(q_ish / a_cond, 3));
poh = 10000;
while (poh > 5)
{

    T_str.Add(Math.Round(T_kon - del_T_condr[iter], 3));
    ar_cond.Add(Math.Round(a_cond * Math.Pow(del_T_condr[iter], -
0.25), 3));
    qr_cond.Add(Math.Round(ar_cond[iter] * del_T_condr[iter], 3));
    delr_T_st.Add(Math.Round(qr_cond[iter] / koef, 3));
    Tr_st2.Add(Math.Round(T_str[iter] - delr_T_st[iter], 3));
    del_T_kipr.Add(Math.Round(Tr_st2[iter] - t_Kip_Sr, 3));
    a_kipr.Add(Math.Round(a_kipa * Math.Pow(qr_cond[iter],
0.666667), 3));
    q_kipr.Add(Math.Round(a_kipr[iter] * del_T_kipr[iter], 3));
    Kr.Add(Math.Round(1 / ((1 / ar_cond[iter]) + (1 / a_kipr[iter]) + (1 /
koef)), 3));
    qr.Add(Math.Round(Kr[iter] * del_T_sr, 3));
    del_T_condr.Add(Math.Round(qr[iter] / ar_cond[iter], 3));
    pohr.Add(Math.Round(((q_kipr[iter] - qr_cond[iter]) / qr_cond[iter])
* 100, 3));
    poh = Math.Round(((q_kipr[iter] - qr_cond[iter]) / qr_cond[iter]) *
100, 3);
    poh = Convert.ToInt32(pohr[iter]);
    iter++;
}
```

```
            F = Math.Round(Q / (Kr[iter-1] * del_T_sr),3);
            #endregion

            Print_toRichTextBox();
        }
        void Print_toRichTextBox()
        {
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[0]  +  "\t"  +
G_0 + "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[1] + "\t" + Gk
+ "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[2] + "\t" + W
+ "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[3]  +  "\t"  +
Pparcam + "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[4] + "\t" + t1
+ "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[5]  +  "\t"  +
delta_T_depr + "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[6]  +  "\t"  +
T_kon + "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[7]  +  "\t"  +
RRK + "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[8]  +  "\t"  +
RVK + "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[9]  +  "\t"  +
H_roz + "\n";
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text  +=  Array_for_Print[10]  +  "\t"  +
H_opt + "\n";
```

```
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[11] + "\t" +
PSR + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[12] + "\t" +
t_Kip_Sr + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[13] + "\t" +
del_T_gef + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[14] + "\t" +
del_T_gs + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[15] + "\t" +
CN + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[16] + "\t" +
CK + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[17] + "\t" +
T_nach + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[18] + "\t" +
Q_nagr + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[19] + "\t" +
i_vt + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[20] + "\t" +
CV + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[21] + "\t" +
Qisp + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[22] + "\t" +
Qpot + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[23] + "\t" + Q
+ "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[24] + "\t" +
del_T_pot + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[25] + "\t" +
t_gp + "\n";
```

```
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[26] + "\t" +
r_0 + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[27] + "\t" +
G_gp + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[28] + "\t" +
del_T_zag + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[29] + "\t" +
del_T_pol + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[30] + "\t" +
t_stn + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[31] + "\t" +
r_rsr + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[32] + "\t" +
M_rsr + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[33] + "\t" +
lamda_rsr + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[34] + "\t" +
r_psr + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[35] + "\t" +
sigma_0 + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[36] + "\t" + b
+ "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[37] + "\t" +
koef_teploprov + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[38] + "\t" +
tov_stinki + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[39] + "\t" +
del_T_sr + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[40] + "\t" +
a_cond + "\n";
```

```
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[41] + "\t" +
a_kip + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[42] + "\t" +
K_ish + "\n";
Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += Array_for_Print[43] + "\t" +
q_ish + "\n";
int num = 4;
for (int i = 0; i < iter ; i++)
{
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + " Наближення № "
+ i  + ":\n";
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num+"   Температура
стінки при " + i + " наближені, C:" + "\t" + T_str[iter1] + "\n";
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".1       Коефіцієнт
тепловіддачі конденсації при " + i + " наближені, Вт/м2*К:" + "\t" +
ar_cond[iter1] + "\n";
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".2       Коефіцієнт
теплопередачі конденсації при " + i + " наближені, Вт/м2:" + "\t" +
qr_cond[iter1] + "\n";
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".3       Різниця
температури стінки при " + i + " наближені, К:" + "\t" + delr_T_st[iter1] + "\n";
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".4
  Температура другої стінки при " + i + " наближені, C:" + "\t" + Tr_st2[iter1] +
"\n";
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".5       Різниця
температури кипіння і стінки при " + i + " наближені, К:" + "\t" +
del_T_kipr[iter1] + "\n";
   Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".6       Коефіцієнт
тепловіддачі кипіння при " + i + " наближені, Вт/м2*К:" + "\t" + a_kipr[iter1] +
"\n";
```

```
                Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".7       Коефіцієнт
теплопередачі кипіння при " + i + " наближені, Вт/м2:" + "\t" + q_kipr[iter1] +
"\n";
                Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".8       Коефіцієнт
теплопередачі при " + i + " наближені, Вт/м2*К:" + "\t" + Kr[iter1] + "\n";
                Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".9
  Теплопередача при " + i + " наближені, Вт/м2:" + "\t" + qr[iter1] + "\n";
                Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".10      Різниця
температури конденсації при " + i + " наближені, К:" + "\t" + del_T_condr[iter1]
+ "\n";
                Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += num + ".11      Похибка
значення теплопередачі, %:" + "\t" + pohr[iter1] + "\n";
                dataGridView1.Rows.Add(i,       Math.Round(T_str[iter1],       2),
Math.Round(ar_cond[iter1],          2),          Math.Round(qr_cond[iter1],          2),
Math.Round(delr_T_st[iter1],          2),          Math.Round(Tr_st2[iter1],          2),
Math.Round(del_T_kipr[iter1],          2),          Math.Round(a_kipr[iter1],          2),
Math.Round(q_kipr[iter1], 2), Math.Round(Kr[iter1], 2), Math.Round(qr[iter1], 2),
Math.Round(del_T_condr[iter1], 2), Math.Round(pohr[iter1], 2));
                iter1++;
                num++;
            }
            Acces_to_Form2.richTextBox1.Text += "8.12       Площа    поверхні
теплопередачі, м2:" + "\t" + F + "\n";
        } //Введення параметрів у звіт
    }
}
namespace Diplom //Код другої форми
{
    public partial class Form2 : Form
    {
```

```
            public Form2()
            {
                InitializeComponent();
            }
            public void Save_to_File_Click(object sender, EventArgs e) //Збереження у файл при натисканні кнопки
            {
                SaveFileDialog saveFile1 = new SaveFileDialog();
                saveFile1.DefaultExt = "*.rtf | *.txt";
                saveFile1.Filter = "RTF Files|*.rtf |TXT Files|*.txt";
                if (saveFile1.ShowDialog() == System.Windows.Forms.DialogResult.OK &&
                  saveFile1.FileName.Length > 0)
                {
                  richTextBox1.SaveFile(saveFile1.FileName);
                }
            }

            private void button1_Click(object sender, EventArgs e) //Закриття форми при натисканні кнопки
            {
                this.Close();
            }
        }
    }

    namespace Diplom //Код третьої форми
    {
        public partial class Form3 : Form
        {
```

```
        public Form3()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e) //Закриття форми при натисканні кнопки
        {
            this.Close();
        }
    }
}

namespace Diplom //Код четвертої форми
{
    public partial class Form4 : Form
    {
        public Form4()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e) //Закриття форми при натисканні кнопки
        {
            this.Close();
        }
    }
```