

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної
технології

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
в/о завідувача кафедри
_____ Толстопалова Н.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2018 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія

(код і назва спеціальності)

спеціалізації Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення

на тему: 3D-моделювання у виробництві нітратної кислоти

Виконала: студентка групи ХН-71мп Концева Марія Володимирівна _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник асистент, к.т.н. Кринець Г. В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультанти:

Охорона праці та безпека в НС к. т. н., доц. Полукаров Ю. О. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Розробка стартап-проекту к. т. н., доц. Підлісна О. А. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц. каф. КХТП, к.т.н. Складанний Д.М _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет хіміко-технологічний

(повна назва)

Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 161 Хімічні технології та інженерія (Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення)

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТНР, В та ЗХТ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Концевій Марії Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації 3D-моделювання у виробництві нітратної кислоти
науковий керівник дисертації Кримець Григорій Володимирович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. № 4099-С
2. Строк подання студентом дисертації: 10 грудня 2018 року
3. Об'єкт дослідження: процес виробництва нітратної кислоти.
4. Вихідні дані: виробництво неконцентрованої нітратної кислоти під єдиним тиском 0,716 МПа, концентрацією 58%, продуктивністю за моногідратом 15 т/год.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: виконання матеріальних, теплових і конструктивних розрахунків основних апаратів технологічної схеми; 3D-моделювання виробництва нітратної кислоти; оцінка можливості реалізації проекту через стартап; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
6. Перелік ілюстративного матеріалу (презентація): хімічна схема виробництва; технологічна схема; результати розрахунків основних апаратів і їх зображення; стадії процесу створення усіх елементів проекту; 3d-модель виробництва; розробка стартап-проекту.
7. Орієнтовний перелік публікацій: тези міжнародної конференції.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в НС	Полукаров Ю.О., доцент кафедри Охорони праці, промислової та цивільної безпеки ІЕЕ		
Розробка стартап-проекту	Підлісна О.А., доцент кафедри Економіки і підприємництва ФММ		

9. Дата видачі завдання 01 листопада 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Виробництво нітратної кислоти (дослідження різноманітності технологій виробництва)	01.11.2018 – 05.11.2018	
2	Поглиблене вивчення хімізму та теоретичних основ виробництва нітратної кислоти	06.11-2018 – 11.11.2018	
3	Вибір технологічної схеми виробництва нітратної кислоти	12.11.2018 – 15.11.2018	
4	Виконання матеріальних, теплових і конструктивних розрахунків апаратів технологічної схеми	16.11.2018 – 19.11.2018	
5	3D-моделювання виробництва нітратної кислоти	20.11.2018 – 24.11.2018	
6	Оцінка можливості реалізації проекту через стартап	25.11.2018 – 28.11.2018	
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	29.11.2018 – 02.12.2018	
8	Оформлення пояснювальної записки	03.12.2018 – 06.12.2018	
9	Створення презентації	07.12.2018 – 08.12.2018	
10	Підготовка доповіді	09.12.2018 – 10.12.2018	
11	Подання магістерської дисертації до передзахисту	10.12.2018	

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 144 сторінки, 30 рисунків, 51 таблицю, 3 додатки, 12 посилань.

Азотна промисловість являє собою одну з провідних підгалузей сучасної хімічної промисловості, що пояснюється важливим значенням зв'язаного азоту в народному господарстві. В технологічних схемах отримання нітратної кислоти процес каталітичного окиснення аміаку є дуже важливим, оскільки саме він визначає основні показники – витрату аміаку, вклад і втрати металів платинової групи, а також енергетичні можливості технологічної схеми. У зв'язку з цим удосконалення процесу каталітичного окиснення аміаку має велике значення для виробництва нітратної кислоти і мінеральних добрив в цілому.

Метою магістерської дисертації було створення віртуальної 3d-моделі виробництва нітратної кислоти для покращення подальшого вивчення особливостей проектування окремих стадій цього процесу та будь-яких інших хіміко-технологічних процесів, а також перевірка адекватності опису реальної технології виробництва цією моделлю, шляхом проведення розрахунків за розробленими раніше алгоритмами.

Об'єктом дослідження є процес виробництва нітратної кислоти, а предметом дослідження є 3d-модель даного виробництва, в процесі розробки якої застосовувалися такі емпіричні методи досліджень, як спостереження за реальним виробництвом, експеримент зі створення його віртуальної моделі та порівняння отриманої моделі із реальним виробництвом нітратної кислоти.

В результаті виконання дисертації створена 3d-модель, яка може бути використана для більш повного вивчення процесу виробництва нітратної кислоти та виконання різноманітних варіацій розміщення об'єктів 3d-моделі, чим дозволяє полегшити завдання розробки проектів об'ємно-планувальних рішень.

НІТРАТНА КИСЛОТА, АМІАК, КОНВЕРСІЯ, АБСОРБЦІЯ, НІТРОЗНІ ГАЗИ, АБСОРБЦІЙНА КОЛОНА, КОНТАКТНИЙ АПАРАТ, ХОЛОДИЛЬНИК-КОНДЕНСАТОР, ХВОСТОВІ ГАЗИ, 3D-МОДЕЛЬ

ABSTRACT

Master's dissertation contains 50 pages, 18 figures, 7 tables, appendices, 12 references.

The nitrogen industry is one of the leading industries in the modern chemical industry, which is explained by the high value of bound nitrogen in the national economy. In the technological schemes for the production of nitric acid, the process of catalytic oxidation of ammonia is very important, because it determines the main indicators - ammonia consumption, contribution and loss of platinum group metals, as well as the energy capabilities of the technological scheme. In this regard, the improvement of the catalytic oxidation process of ammonia is of great importance for the production of nitric acid and mineral fertilizers in general.

The purpose of the master's thesis was to create a virtual 3d model of nitric acid production to improve the further study of the thermodynamic, kinetic and structural features of individual stages of this process and to verify the adequacy of describing the actual production technology of this model, by conducting calculations by earlier algorithms.

The object of the study is the process of production of nitric acid, and the subject of the study is the 3d model of this production, in the process of development of which empirical research methods such as observation of real production, the experiment to create its virtual model and the comparison of the model with the real production of nitric acid.

As a result of the dissertation, a 3d model has been created that can be used for a more complete study of the nitric acid production process and the implementation of various variations in the placement of 3d model objects, which helps to simplify the task of designing volumetric planning solutions.

NITRIC ACID, AMMONIA, CONVERSION, ABSORPTION, NITROGEN GASES, ABSORPTION COLUMN, CONTACT UNIT, REFRIGERATOR-CONDENSER, TAIL GASES, 3D MODEL

ЗМІСТ

стор.

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів	8
ВСТУП.....	9
1 ВИРОБНИЦТВО НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ.....	13
1.1 Системи, що працюють під атмосферним тиском	14
1.2 Системи, що працюють за підвищеного тиску.....	14
1.3 Комбінований спосіб виробництва нітратної кислоти.....	15
1.4 Порівняльна характеристика різних систем	16
2 ХІМІЗМ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРИЙНЯТОГО МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА, ОБГРУНТУВАННЯ НОРМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ..	17
2.1 Окиснення аміаку	17
2.2 Каталізатори окиснення аміаку	17
2.3 Механізм процесу окиснення аміаку на платинових каталізаторах.....	18
2.4 Переробка оксидів азоту в нітратну кислоту.....	19
2.5 Механізм процесу взаємодії оксидів азоту з водою	21
2.6 Очищення хвостових газів.....	23
3 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА.....	25
4 АЛГОРИТМИ МАТЕРІАЛЬНИХ, ТЕПЛОВИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ РОЗРАХУНКІВ ОКРЕМИХ АПАРАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ.....	28
4.1. Алгоритм розрахунку контактного апарату	28
4.2 Алгоритм розрахунку окиснювача з підігрівачем повітря	33
4.3 Алгоритм постадійного розрахунку холодильника-конденсатора.....	39
4.4 Алгоритм розрахунку абсорбційної колони	54
4.5 Алгоритм розрахунку реактора селективної очистки	64
5 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ	70
6 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ ЧЕРЕЗ СТАРТАП	87
6.1 Загальна характеристика розробки	88
6.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу	90
6.3 Ключові фактори успіху проекту методом Шонфільда	95

6.4 Опитування споживачів та паспорт клієнта	97
6.5 Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки	100
6.6 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції на ринку	104
6.7 Оптимальна технологія продажу	108
6.8 Концепція бізнес-моделі проекту	109
6.9 Карта бізнес процесів реалізації проекту	109
6.10 Оцінка ризиків та страхування розробки	112
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	116
7.1 Охорона праці	116
7.1.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників в комп'ютерному класі кафедри ТНР, В і ЗХТ. Заходи з охорони праці.	116
7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	122
7.2.1 Атестація робочого місця за умовами праці	122
7.2.2 Пожежна безпека	124
7.2.3 Аналіз небезпеки об'єкту	125
7.2.4 Оцінка надійності захисту працівників об'єкту з використанням захисних споруд за місткістю та за захисними властивостями	126
ВИСНОВКИ	129
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	131
ДОДАТОК А Розрахунок основних апаратів за допомогою кафедральної програми	133
ДОДАТОК Б Зразок договору на розробку програми «3D-МІСЕ»	139
ДОДАТОК В Зразки анкет для опитування респондентів та для дослідження конкурентної ситуації на ринку	141

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів
ЕОМ – Електронно-обчислювальна машина

Вступ

Хімічна промисловість є важливою галуззю народного господарства. Без розвиненої хімічної промисловості, яка використовує найновіші досягнення науки, неможливий розвиток економіки країни.

Азотна промисловість являє собою одну з провідних підгалузей сучасної хімічної промисловості, що пояснюється важливим значенням зв'язаного азоту в народному господарстві.

Основна частина виробленої нітратної кислоти використовується для виробництва мінеральних добрив – аміачна селітра, карбамід, ряд складних і комплексних добрив. Оскільки одним з продуктів виробництва азотовмісних речовин є нітратна кислота її виробництво інтенсивно розвивається.

Споживання нітратної кислоти не обмежується виробництвом добрив. Вона використовується для отримання майже всіх вибухових речовин, цілого ряду технічних солей, в промисловості органічного синтезу, для виробництва сульфатної кислоти, в ракетобудівній галузі та ін..

Промислове виробництво нітратної кислоти ґрунтується на каталітичному окисненні аміаку киснем повітря з подальшим поглинанням оксидів азоту, що утворюються – водою. В технологічних схемах отримання нітратної кислоти процес каталітичного окиснення аміаку має дуже важливе значення, тому що саме він визначає основні показники – витрату аміаку, вклад і втрати металів платинової групи, а також енергетичні можливості технологічної схеми. У зв'язку з цим удосконалення процесу каталітичного окиснення аміаку має велике значення для виробництва нітратної кислоти і мінеральних добрив в цілому [1].

До сучасних тенденцій розвитку технології отримання нітратної кислоти відносяться: забезпечення найбільшої надійності конструкцій апаратів і машинних агрегатів; підвищення ступеня абсорбції, а також ступеня використання теплоти хімічних реакцій і ККД енергії стиснутих газів; зниження шкідливих викидів в атмосферу.

Для забезпечення кращого виконання перерахованих вище задач необхідно покращувати рівень сприйняття і розуміння процесів, що відбуваються під час

синтезу нітратної кислоти. Це можливо завдяки використанню новітніх технологій, які дозволяють, шляхом створення віртуальних 3d-моделей даного виробництва, змоделювати весь процес і як наслідок – краще його дослідити. Також 3d-моделювання дає можливість виконання різноманітних варіацій розміщення створених 3d-моделей, чим полегшує завдання розробки проектів об'ємно-планувальних рішень.

Моделювання і візуалізація хіміко-технологічних процесів в наш час набуває все більшої актуальності. Виконується багато робіт з розробки віртуальних моделей різних виробництв. Всі вони спрямовані на вдосконалення сприйняття хіміко-технологічних процесів. Наслідком цього є поява нових програм-тренажерів, симуляторів, бібліотек технологічного обладнання та інших форм віртуального моделювання об'єктів, що досліджуються в хімічній технології.

У роботі Краснянського, Остроуха, Баранова та інших авторів [1] описується процес створення тренажерних комплексів для навчання і тренування персоналу хімічних і машинобудівних виробництв. Також розглядається проблема підвищення рівня кваліфікації працівників та впровадження в процес їхньої підготовки віртуальних тренажерних комплексів. Порівнюються переваги та недоліки віртуальних комплексів з використанням 3D технологій та реальних тренажерних комплексів. В статті висвітлено які саме завдання повинен реалізовувати створений тренажерний комплекс та перераховано основні складові (кластери), які повинен включати алгоритм створення, але не надано власне самих математичних моделей за якими працюватиме створений віртуальний тренажер.

У статті Немтинова, Юханова, Малигіна та інших авторів [2] розглянуто процес створення прототипу віртуальної моделі навчально-матеріальних ресурсів університету хіміко-технологічного профілю. Описано процеси 3D-моделювання елементів та вузлів технологічного обладнання, віртуальне моделювання промислового обладнання і технологічних комплексів, імітаційне моделювання технологічних комплексів, створення віртуальних тренажерів для навчання та тренінгу операторів хіміко-технологічних систем, а також віртуальних моделей

територіально роз приділених об'єктів. Представлені фрагменти візуального відображення процесу роботи створеної в середовищі Transact-SQL 3D моделі. Але так само, як і в попередній статті, не наведено конкретних математичних моделей та зразків алгоритму роботи даного віртуального тренажера.

Стаття Хафізова, Мухіна та Дороніна [1] розглядає процес імітаційного моделювання змішувача для подальшого використання його при дослідженні режиму роботи кавітаціо-вихревого апарату. Робота описує процес моделювання вище згаданого апарату з використанням сучасних пакетів числового моделювання. Також завдяки створеній віртуальній моделі чисельно підтверджено наявність зони гідродинамічної кавітації в змішувачі. Дана стаття підтверджує можливість використання віртуальних 3D технологій для дослідження та опису реальних процесів та явищ не тільки в хімії, а й в інших галузях науки та техніки.

Краснянський, Карпушкін, Дедов та інші автори [2] розглянули основні аспекти створення автоматизованої інформаційної системи, призначеної для навчання та тренінгів операторів хіміко-технологічних систем в штатних та аварійних ситуаціях. У даній статті детально описано розроблений саме під задачу роботи підприємств в аварійних ситуаціях алгоритм проектування віртуального тренажерного комплексу. Представлена деталізована схема структури даної автоматизованої інформаційної системи. Даний тренажерний комплекс є віртуальним, але не передбачає 3D візуалізацію усіх описаних у структурі процесів.

Основна ідея статті Файзрахманова та Полевшикова [3] полягає в тому, що запропонована авторами статті віртуальна модель дозволяє автоматично отримувати комплексну оцінку рівня сформованості професійних умінь та навичок операторів виробничо-технологічних систем. Наукова новизна даної моделі полягає в тому, що в порівнянні з іншими (існуючими на час створення даної статті) моделями, вона дозволяє створити зв'язок між показниками якості виконання певного завдання на тренажері з коефіцієнтами засвоєння вивченого матеріалу. Недоліком даної моделі є її теоретичний алгоритм, який ще не

реалізовувався програмними засобами і відповідно не був перевірений на адекватність опису отриманих в результаті тестування даних.

Стаття Дзевочко та Кравченко [1] описує явище підвищення сприйняття, інтерпретації та засвоєння знань у студентів кафедри Автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу НТУ “ХПИ” на базі наочного 3D моделювання. Отримані в процесі дослідно-експериментальної роботи дані підтвердили причинно-наслідковий зв’язок між впровадженням нової технології навчання дисциплін кафедри й формуванням високої компетентності студентів: володінням уміннями, що забезпечують ефективність професійної діяльності в умовах сучасного конкурентного середовища, творчої спрямованості професійної діяльності. Розглянуто кілька прикладів використання 3D-моделей у вивченні дисциплін спеціальності.

Отже, в рамках магістерської дисертації було поставлено задачу створити віртуальну 3d-модель виробництва нітратної кислоти для покращення вивчення цього процесу в подальшому та перевірити адекватність опису реальної технології виробництва цією моделлю, шляхом проведення розрахунків за розробленими раніше алгоритмами.

1 ВИРОБНИЦТВО НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

Нітратна кислота відома з давніх часів. Починаючи з XVII ст. нітратну кислоту виготовляли за допомогою перегонки суміші селітри з сірчаною кислотою. До початку XX ст. природна селітра була єдиним джерелом отримання нітратної кислоти.

Процес відбувався за наступною реакцією:



На початку XX ст. було вирішено проблему зв'язування атмосферного азоту [3], що дало можливість використовувати практично безмежне джерело азоту (атмосферне повітря). Метод базувався на пропусканні повітря через електричну дугу (дуговий метод). Але цей спосіб виявився енерговитратним: на 1 т нітратної кислоти витрачалося 70000 кВт·год.

Нарешті в 1910р. був розроблений і реалізований в промисловості фірмою BASF метод синтезу аміаку з простих речовин і з того часу вдалось вирішити проблему виробництва нітратної кислоти. Спосіб реалізований за рахунок окиснення аміаку до оксиду азоту з використанням відповідних каталізаторів – спосіб контактного окиснення аміаку.

На даний час розробляються і інші способи отримання нітратної кислоти [4]:

- окиснення азоту в електричних розрядах;
- зв'язування атмосферного азоту шляхом безпосереднього опромінення повітря з киснем в атомному реакторі;
- зв'язування азоту за допомогою іонізуючого випромінювання;
- високотемпературне окиснення азоту за температури ≈ 2200 °С.

Найбільшого поширення набув метод контактного окиснення аміаку. Ці способи можна розділити на три основні групи:

- виробництво нітратної кислоти під атмосферним тиском;
- виробництво нітратної кислоти за підвищеного тиску;
- виробництво нітратної кислоти комбінованим методом.

1.1 Системи, що працюють під атмосферним тиском

Перша стадія виробництва включає в себе підготовку аміаку і повітря. Очищене повітря вентилятором спареним з аміачним, подається через змішувач в контактний апарат.

Вміст аміаку в аміачно-повітряній суміші знаходиться в межах від 9,5 % до 12 %. Аміачно-повітряну суміш спалюють на каталізаторі за температури 750÷850 °С. Нітрозні гази проходять підігрівач повітря, паровий котел, де охолоджуються до 180÷200 °С. Подальше їх охолодження відбувається водою в трубних холодильниках, де утворюється нітратна кислота концентрацією від 3 до 20 %. Охолоджені нітрозні гази поступають в абсорбційну систему, яка за звичай складається з шести башт. Поглинання відбувається водою. В абсорбційну систему подається додаткове повітря з таким розрахунком, щоб у вихлопному газі вміст кисню становив 5,5 %.

Кожна башта зрошується кислотою відповідної концентрації. Циркуляція кислоти здійснюється за допомогою відцентрових насосів, що подають її на зрошення через холодильники. Кислота, після досягнення необхідної концентрації виводиться з системи. Концентрація кислоти на виході становить 45÷50 %.

1.2 Системи, що працюють за підвищеного тиску

В системах, які працюють за підвищеного тиску повітря спочатку фільтрують а потім стискають в турбокомпресорі до 0,9 МПа. Очищене повітря, підігрівають за рахунок теплоти нітрозного газу до температури 300÷350 °С іде на змішування з аміаком в змішувач. Після змішувач аміачно-повітряна суміш концентрацією аміаку 10 % і температурою 300 °С подається в контактний апарат, де на платино-родієвому каталізаторі аміак окиснюється до оксиду азоту, за рахунок теплоти реакції температура каталізатора досягає 900 °С. Гарячі нітрозні гази проходять через підігрівач повітря, котел утилізатор і подаються у холодильники-конденсатори. В холодильниках-конденсаторах під час

охолодження газів до 40 °С утворюється 53÷56 % нітратна кислота в кількості 50 % від загальної продуктивності агрегату. Нітрозні гази, що не поглинулися в холодильнику-конденсаторі подаються в абсорбційну колону, а кислота направляється або в колону для подальшого закріплення (56÷60 %) або виводиться з системи як кінцевий продукт.

Додаткове повітря в кількості до 20 % від основного вводиться або в холодильник-конденсатор або в нижню частину абсорбційної колони. Концентрація оксидів азоту в газах після абсорбційної колони знижується до 0,2÷0,3 %.

1.3 Комбінований спосіб виробництва нітратної кислоти

В цих системах контактне окиснення відбувається за атмосферного тиску а переробка оксидів азоту в нітратну кислоту за підвищеного тиску.

Процес окиснення аміаку аналогічний системі, що працює за атмосферного тиску.

Нітрозні гази після виходу з котла-утилізатора охолоджуються в швидкісному холодильнику, розведена кислота (3 %) відділяється і збирається в збірнику звідки насосом подається на верхню тарілку абсорбційної колони. В другому трубчастому холодильнику звичайного типу виділяється 30 % кислота, яка також подається в абсорбційну колону на тарілку відповідної концентрації.

Нітрозні гази з температурою 50 °С засмокуються турбокомпресором, стискаються до 0,7 МПа і з температурою 110÷150 °С проходять зрошувальний холодильник-конденсатор. Під час стискання нітрозного газу в турбокомпресорі оксид азоту інтенсивно окиснюється, так як разом з нітрозним газом засмоктується додаткове повітря, необхідне для окиснення. Тому добре окиснені нітрозні гази в присутності невеликої кількості реакційної води в конденсаторі утворюють 55÷62 % нітратну кислоту.

Нітрозні гази далі поступають в абсорбційну колону барботажного тарілкового типу, яка зрошується конденсатом з швидкісного холодильника і

деякою кількістю водяного конденсату. Готова кислота (60÷62 %) видається через спускний клапан.

1.4 Порівняльна характеристика різних систем

Для порівняльної оцінки різних систем виробництва нітратної кислоти необхідно враховувати ряд факторів які визначають вибір тієї чи іншої системи. Одними з найважливіших факторів є: витратні коефіцієнти, капітальні витрати, можливість виробництва обладнання і простота його експлуатації.

Також необхідно відмітити, що системи без тиску і комбінована видають 0,98 т, а система під тиском 0,8 МПа – 0,67 т відхідної пари на 1 т HNO_3 .

Якщо співставити витратні коефіцієнти можна зробити висновок, що система яка працює під атмосферним тиском являється найбільш економічно вигідною за експлуатаційними витратами. Але концентрація кислоти, що отримується в таких системах становить не більше 50 %, в той час як комбіновані системи виробляють кислоту з концентрацією 60÷62 %. Порівняння витратних коефіцієнтів різних систем виробництва неконцентрованої азотної кислоти наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Витратні коефіцієнти різних систем виробництва неконцентрованої азотної кислоти

Система	Аміак, т	Електроенергія, кВт·год	Пара, т	Обігова вода, м ³	Конц. кислоти, %
Під атмосферним тиском	0,295	85	0,1	125	48÷50
Під тиском 0,8 МПа	0,295	351	0,58	183	58÷60
Комбінована схема	0,295	353	0,1	183	60÷62

В нашому випадку для виробництва неконцентрованої нітратної кислоти обрана технологічна схема під одним тиском 0,716 МПа УКЛ (уніфікована комплексна лінія). Не дивлячись на високі експлуатаційні затрати, ця система нижча за капітальними вкладеннями і значно економішша в необхідній кількості металу для її реалізації.

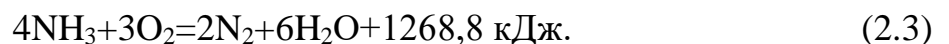
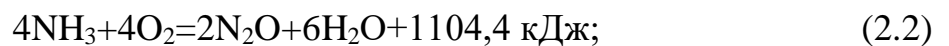
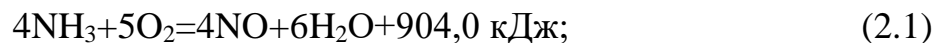
2 ХІМІЗМ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРИЙНЯТОГО МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА, ОБГРУНТУВАННЯ НОРМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ

2.1 Окиснення аміаку

В основі вибраного методу виробництва нітратної кислоти під єдиним тиском 0,716 МПа є каталітичне окиснення аміаку киснем повітря з подальшим поглинанням оксидів азоту водою [4].

Каталітичне окиснення аміаку є складним процесом і може з однаковою ймовірністю відбуватися з утворенням необхідного продукту у вигляді оксиду азоту (II), так і з утворенням молекулярного азоту (N₂) і оксиду азоту (I).

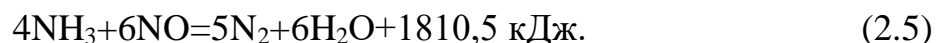
В загальному вигляді реакції, що відбуваються описуються рівняннями:



Таким чином утворений за реакцією (2.2) оксид азоту може розкладатися за реакцією:



або взаємодіяти з аміаком:



Аміак, що подається з аміачно-повітряною сумішшю, може розкладатися до молекулярного азоту і водню, який потім згорає з утворенням пари води:



Таким чином для проведення окиснення аміаку з метою отримання оксиду азоту (II) необхідний не лише активний але і селективний каталізатор.

2.2 Каталізатори окиснення аміаку

Ще в 1902 р. Оствальдом було показано, що найбільш перспективним каталізатором для даного процесу є платина, яка за активністю і селективністю переважає всі інші зразки каталізаторів [4].

У виробництві нітратної кислоти платиноїдні каталізатори використовуються у вигляді сіток. Ця форма зручна в експлуатації, характеризується мінімальними затратами платиноїдів, і дозволяє використовувати максимально простий і зручний в експлуатації контактний апарат.

2.3 Механізм процесу окиснення аміаку на платинових каталізаторах

Значення констант рівноваги реакцій (2.1)-(2.3) за температури 1173 К мають наступні значення: $K_{P1}=10^{-53}$; $K_{P2}=10^{-61}$; $K_{P3}=10^{-67}$. Практично всі вони можуть рахуватися незворотними. За нормальних умов найбільш ймовірною є реакція (2.3), саме тому під час розпалу факела аміаку він горить на повітрі з утворенням молекулярного азоту. Для отримання цільового продукту – оксиду азоту (II) – потрібен селективний каталізатор, при чому ефективність процесу на ньому залежить від розуміння механізму і залежності швидкості реакцій, що проходять від різноманітних факторів [4].

Існують дві основні точки зору процесу утворення оксиду азоту (II) на платиновому каталізаторі.

Одні дослідники доводять, що утворення оксиду азоту відбувається як на каталізаторі так і в області біля нього, інші – що окиснення аміаку відбувається виключно на каталізаторі. Оскільки в реакціях (2.1)-(2.3) приймає участь велика кількість молекул вихідних речовин, дослідники вважають, що процес окиснення аміаку до кінцевого продукту складається з ряду послідовних процесів і проходить через утворення проміжних сполук. При цьому прихильники чисто гетерогенного каталізу дотримуються думки, що проміжні сполуки утворюються і перетворюються на поверхні каталізатора, а прихильники гетерогенно-гомогенного каталізу вважають, що цей процес проходить як на поверхні каталізатора, так і в об'ємі після нього.

Процес окиснення аміаку з точки зору адсорбційно-хімічної теорії каталізу можна представити наступним чином. Кисень і аміак дифундують з газової суміші до поверхні каталізатора. В наслідок високої температури контактування

ковалентний зв'язок між атомами в молекулах цих газів послаблюється. Так як швидкість дифузії кисню вища швидкості дифузії аміаку, в першу чергу відбувається активована адсорбція кисню, яка супроводжується утворенням електронного зв'язку з атомами платини, яка має вільні валентності. В результаті чого утворюється комплекс каталізатор-кисень.

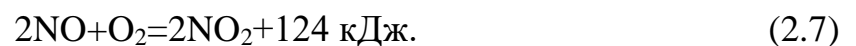
Молекули аміаку, що поступають до поверхні каталізатора потрапляють під активовану адсорбцію, при цьому висока хімічна схожість водню і кисню орієнтує аміак до поверхні каталізатора атомами водню. Відбувається перерозподіл електронних зв'язків, при чому з киснем комплексу реагує як водень з утворенням води, так і азот аміаку з утворенням оксиду азоту (II). Ці сполуки мають меншу адсорбційну властивість ніж вихідні сполуки і виносяться з поверхні каталізатора потоком повітря. При повторній адсорбції кисню знову утворюються активовані комплекси платина-кисень і процес повторюється.

Утворення молекулярного азоту відбувається при неповному покритті поверхні каталізатора киснем і за рахунок перебігу побічних реакцій в об'ємі після каталізатора.

2.4 Переробка оксидів азоту в нітратну кислоту

Як сказано вище, під час окиснення аміаку утворюється лише оксид азоту (II). Це відносно мало реакційна сполука, яка не реагує з водою, тому для отримання нітратної кислоти вона повинна бути окиснена до оксидів з вищою валентністю [2].

Під час окиснення NO киснем утворюється оксид азоту (II):



Який може полімеризуватися до N_2O_4 і вступати в реакцію з NO з утворенням оксиду азоту (III):



Рівновага цих реакцій за низьких температур зміщена вправо, тому в нітрозних газах за умови надлишку кисню і за достатнього часу контактування всі

оксиди азоту після охолодження можуть перетворитися в оксид азоту (IV) (N_2O_4). В реальних умовах неперервних процесів окиснення і кислотоутворення рівновага не досягається, через це в газах присутні всі оксиди азоту – NO, NO_2 , N_2O_3 , N_2O_4 . Співвідношення між їх кількістю визначається за температурних умов.

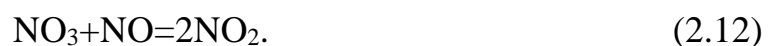
Рівновагу реакцій (2.7)-(2.9) добре вивчено і числові значення констант рівноваги можуть бути знайдені в будь-якому довіднику.

Температурна залежність константи рівноваги реакцій (2.7) може бути визначена з великою ступінню точності за рівнянням Боденштайна (для тиску в кПа):

$$\lg K = \lg \frac{p_{NO}^2 \cdot p_{O_2}}{p_{NO_2}^2} = \left(-\frac{5749}{T} + 1.75 \lg T - 0.0005T + 1.8306 \right). \quad (2.10)$$

З пониженням температури рівновага реакції зміщується в бік утворення оксиду азоту (IV). За атмосферного тиску в нітрозних газах, за температури біля $150^\circ C$ в газі міститься лише NO_2 , за температури $700^\circ C$ – лише NO. Підвищення тиску зміщує рівновагу в сторону утворення NO_2 .

Особливістю реакції (2.7) є те, що її швидкість має від'ємний температурний градієнт – вона збільшується з пониженням температури. Це протиріччя пояснюється двостадійністю процесу. Так спектрально було встановлено існування сполуки NO_3 в газі під час окиснення оксиду азоту (II). Більшість дослідників представляє процес в цілому як дві стадії:



Перша стадія протікає швидко, з підвищенням температури її швидкість зростає, але рівновага зміщується вліво. Друга стадія повільна. Вона і визначає швидкість сумарного процесу. Оскільки за пониження температури буде рости кількість NO_3 , це призводить до збільшення швидкості другої реакції і реакції в цілому. Такий механізм дозволяє пояснити від'ємний температурний градієнт швидкості реакції.

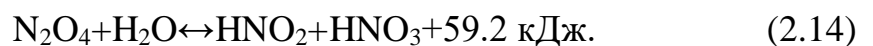
Якщо в початковій стадії окиснення NO в нітрозних газах швидкість реакції (2.7) відносно велика, але по мірі зниження концентрації оксиду азоту (II) і кисню, вона не дивлячись на зниження температури різко зменшується. Досягнути високої ступені окиснення (вище 90-93%) особливо за низьких концентрації NO (менше 2,0÷2,5%) дуже важко. Для цього необхідно час, тобто великий реакційний об'єм. Для збільшення швидкості реакції необхідно знижувати температуру, підвищувати тиск на стадії абсорбції, збільшувати вміст кисню в газі.

2.5 Механізм процесу взаємодії оксидів азоту з водою

Нітратна кислота термодинамічно стійка за температур нижче 250 °С. Тому під час охолодження нітрозних газів нижче цієї температури одночасно з процесами окиснення розпочинають проходити процеси кислотоутворення. В газовій фазі за високих ступенів окиснення оксиду азоту (II) відбувається взаємодія NO₂ з водяною парою, але кількість утворених парів нітратної кислоти невелика [1].

Процес утворення нітратної кислоти в промисловості відбувається як під час поглинання оксидів азоту водою, так і в умовах конденсації пари реакційної води з нітрозних газів під час їх охолодження.

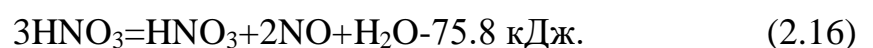
Присутні в нітрозних газах контактного окиснення аміаку оксиди азоту (NO₂, N₂O₃, N₂O₄) здатні взаємодіяти з водою. Так, оксид азоту (III) утворює з водою азотисту кислоту, а оксид азоту (IV) – азотисту і нітратну кислоти:



Азотиста кислота нестійка сполука і в розчинах нітратної кислоти розкладається:



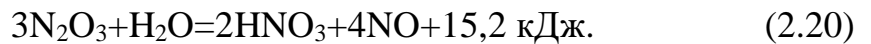
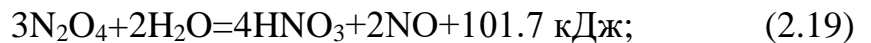
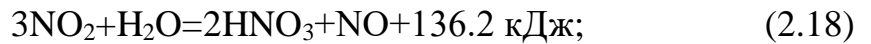
Сумарний процес розкладу з врахуванням перебігу зворотних реакцій (2.13) і (2.14) можна записати у вигляді:



Оксид азоту (II), що утворюється в розчинах приблизно до 60% нітратної кислоти частково окиснюється в рідкій фазі до NO_2 , а в основному – в газовій фазі, після виділення з розчину:



В загальному вигляді процес утворення 55÷60 % нітратної кислоти, який перебігає з поглинанням оксидів азоту з нітрозних газів, отриманих конверсією аміаку киснем повітря, описується наступними реакціями



Рівновага реакції (2.18) вивчалась багатьма спеціалістами. Зазвичай для зручності константу рівноваги реакції розглядають як добуток двох окремих констант:

$$K = K_1 \cdot K_2 = \frac{P_{\text{NO}} \cdot P_{\text{HNO}_3}^2}{P_{\text{NO}_2}^3 \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}}; \quad (2.21)$$

$$K_1 = \frac{P_{\text{NO}}}{P_{\text{NO}_2}^3}; K_2 = \frac{P_{\text{HNO}_3}^2}{P_{\text{H}_2\text{O}}}.$$

Окремі константи для великого інтервалу температур і концентрації кислоти визначали експериментально за парційним тиском пари над розчином нітратної кислоти певної концентрації. Константа K залежить тільки від температури, а окремі константи і від концентрації кислоти, що дуже важливо для K_1 , яка фактично і визначає максимальну концентрацію кислоти.

Залежність константи K_1 від температури виражається рівнянням Терещенко

$$\lg K_1 = 2.188 \cdot 10^7 \cdot T^{-2.58} - 4.571 \cdot 10^2 \cdot T^{-1.424} \cdot C_{\text{HNO}_3} - 2.017. \quad (2.22)$$

Рівняння використовується в найбільш важливому діапазоні концентрацій кислоти від 0 до 60%, парційних тисків оксидів азоту від $0,39 \cdot 10^4$ Па до $9,16 \cdot 10^4$ Па, ступені окиснення оксиду азоту від 6 % до 95 % і температур від 20 °С до 70 °С.

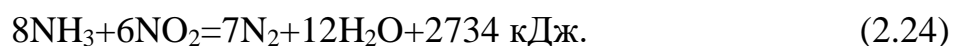
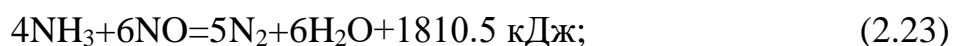
У відповідності значенням констант, що розглядаються поглинання оксидів азоту з нітрозних газів контактного окислення аміаку за звичайних температур може інтенсивно проходити до концентрації кислоти 60÷62 %. Після досягнення концентрації 65÷68 % процес повинен практично припинитися, так як рівноважні концентрації оксиду азоту (II) над такою кислотою дуже малі і вміст NO в газі повинен викликати розклад кислоти. Для отримання кислоти високих концентрацій необхідно збільшувати ступінь окиснення оксиду азоту (II) і парціальний тиск оксид азоту (IV). Це досягається підвищенням загального тиску в системі.

2.6 Очищення хвостових газів

В зв'язку з високою токсичністю оксиду азоту їх вміст в повітрі обмежений: для робочих зон ГДК оксидів азоту в перерахунку на NO₂ складає 5 мг/м³, для приземного шару атмосфери – 0,086 мг/м³. Для зниження вмісту оксидів азоту у газі, що відкидається до концентрації менше 0,01 % NO_x використовуються спеціальні методи очищення.

Одним із способів є селективне відновлення оксидів азоту. Особливістю цього процесу є взаємодія відновника тільки з оксидами азоту. Таким реагентом в промисловості є аміак [5].

Процес відновлення оксидів азоту відбувається за реакціями:



Його здійснюють за температури 200÷350 °С. В залежності від типу каталізатора можливе також окиснення аміаку до N₂O і N₂ та відновлення NO₂ і NO до оксиду азоту (I) за реакцією:



В якості каталізаторів селективного очищення оксидів азоту було випробувано велику кількість оксидів металів. Каталітична активність зразків за температури 200÷350 °С і швидкості газу 10000 год⁻¹ зменшується в послідовності:

Pt>MnO₂>V₂O₅>CuO>Fe₂O₃>Cr₂O₃>NiO>WO₃>ZnO>Al₂O₃>SiO₂>PbO

В промисловості використовують алюмованадієвий каталізатор типу АВК-10. На цьому каталізаторі в лабораторних умовах ($C_{\text{NOx}}=0.08\div 0.1\%$, $C_{\text{O}_2}=4\%$, $C_{\text{H}_2\text{O}}=3\%$, $P=0,101\text{ МПа}$) за температур $240\div 280\text{ }^\circ\text{C}$ ступінь відновлення оксидів азоту близька до 100% .

Основним недоліком цього методу є необхідність дозувати в газ після абсорбційної колони невелику кількість аміаку з забезпеченням рівномірного розподілу його в потоці газу і можливість утворення після очищення нітрит-нітратів амонію. Для виключення останнього підтримують температуру газів, що викидається в атмосферу вище $180\div 200\text{ }^\circ\text{C}$.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА

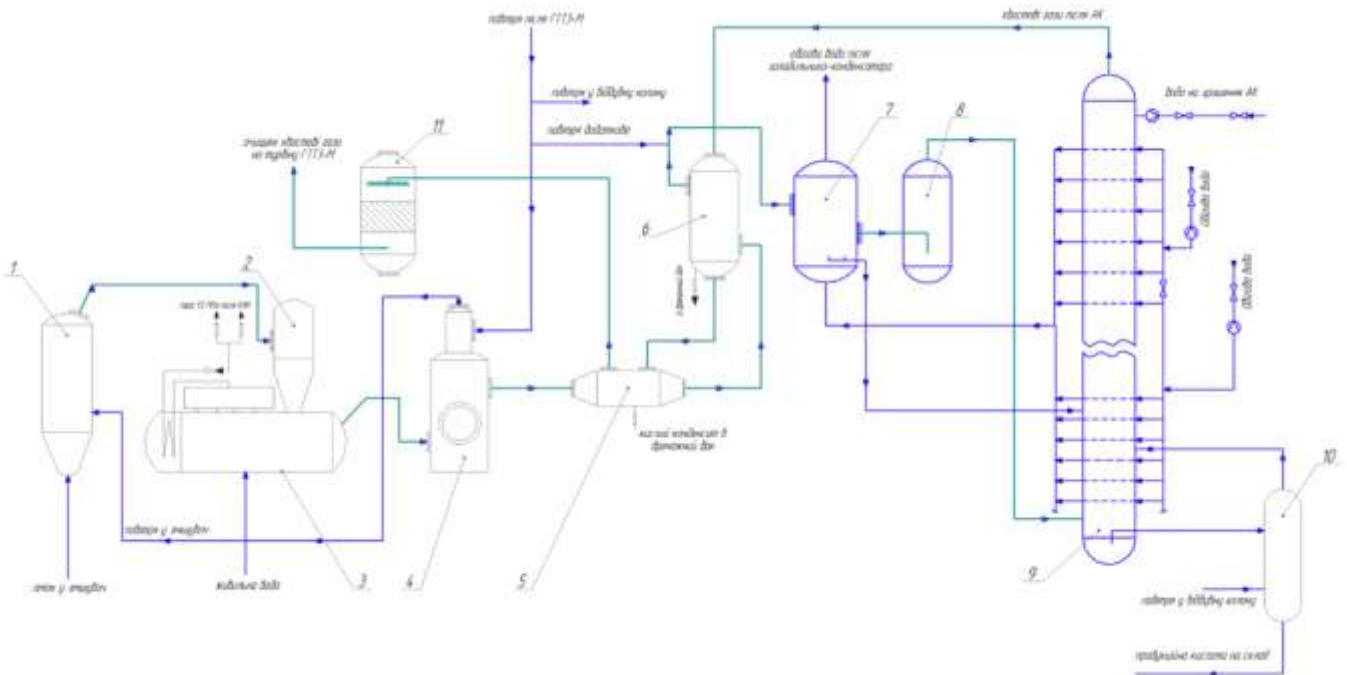
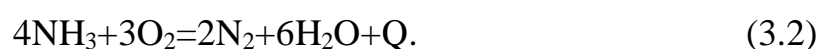
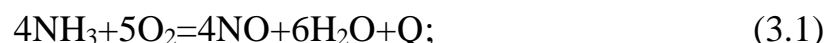


Рисунок 3.1 – Схема виробництва неконцентрованої нітратної кислоти під тиском 0,716 МПа.

Стиснене повітря після нагнітача агрегату ГТТ-3М (газова турбіна технологічна) подається в підігрівач повітря поз. 4 (суміщений з окислювачем) і далі з температурою 200÷230 °С у змішувач поз. 1.

У змішувачі поз.1 повітря змішується з газоподібним аміаком. Об'ємна частка аміаку в аміачно-повітряній суміші підтримується постійною на рівні 9,5÷11,0 %. Після змішування у апараті аміачно-повітряна суміш фільтрується і з температурою 140÷230 °С надходить в контактний апарат поз. 2.

У контактному апараті поз. 2 аміак окиснюється до оксиду азоту (II) на платиноїдних сітках за температури 850÷910 °С киснем, що міститься в аміачно-повітряній суміші, за реакціями:



Вихід оксиду азоту (II) залежить від кількості аміаку, який надходить на окиснення і складає не менше 93,5 %. Гарячі нітрозні гази, що утворюються під час окиснення аміаку надходить у котел-утилізатор поз. 3.

Тепло, що отримується під час охолодження нітрозного газу, використовується для вироблення перегрітої пари, підігріву хвостових газів, а також для підігріву повітря для процесу конверсії.

Гарячий потік нітрозних газів з температурою $890\div 905$ °С проходить охолодження в котлі-утилізаторі поз. 3, проходить окиснювач поз. 4. Частина потоку нітрозних газів підігріває повітря для конверсії і далі, змішуючись з основним потоком, охолоджується в підігрівачі хвостових газів II ступеня поз. 5 до температури $240\div 270$ °С. Потім нітрозний газ надходить у підігрівач хвостових газів I ступеня поз. 6, де охолоджується до температури $130\div 160$ °С.

Охоложені у теплообмінниках нітрозні гази надходять у холодильник-конденсатор поз. 7, після чого направляються в доокиснювач поз. 8 і далі під першу тарілку абсорбційної колони поз. 9. Передбачається зрошення абсорбційної колони знесоленою водою. При цьому відбувається утворення продукційної кислоти концентрацією не менше 57 % мас. HNO_3 .

Після абсорбційної колони поз. 9 продукційна кислота з розчиненими оксидами азоту надходить у віддувну колону поз. 10, де продувається повітрям. Продувне повітря з віддувної колони подається під шосту тарілку абсорбційної колони поз. 9. Віддута продукційна нітратна кислоти з вмістом розчинених оксидів азоту до 0,07 % мас. надходить на склад, а хвостові гази з абсорбційної колони направляються на підігрів та селективне очищення від оксидів азоту.

Хвостові гази з температурою 35 °С проходять підігрів у підігрівачах хвостових газів. Підігрітий хвостовий газ з температурою $235\div 270$ °С, змішуючись з газоподібним аміаком, загальним потоком надходить у реактор селективного очищення поз. 11, де на каталізаторі АВК-10 відбувається відновлення оксидів азоту.

Очищені хвостові гази надходять в камеру згоряння турбіни на остаточний підігрів до температури не вище 700 °С. Підігрів очищених хвостових газів здійснюється прямим контактом з продуктами згоряння, одержаними після спалювання природного газу в камері згоряння. У цій же камері і газоході до

газової турбіни в гомогенній фазі відбувається термічне окиснювання аміаку до молекулярного азоту із залишковим вмістом NH_3 не вище 70 мг/м^3 .

Газова суміш очищених хвостових газів і паливних газів з температурою не вище $700 \text{ }^\circ\text{C}$ надходить у газову турбіну, де за рахунок розширення виробляється механічна енергія, яка споживається компресорною групою газотурбінної установки. Під час розширення газів, що відходять, до залишкового тиску $0,106 \text{ МПа}$ відбувається охолодження газового потоку до температури не вище $410 \text{ }^\circ\text{C}$. Подальше рекуперативне охолодження газів, що відходять, відбувається в котлі-утилізаторі, у якому виробляється перегріта пара з температурою $210\div 250 \text{ }^\circ\text{C}$ і тиском $1,5 \text{ МПа}$ та у економайзері, де підігрівається живильна вода.

Охолоджені гази, що відходять, з температурою $130\div 180 \text{ }^\circ\text{C}$ через колектор і вихлопну трубу викидаються в атмосферу.

Опис технологічної схеми виробництва викладений відповідно до [6].

4 АЛГОРИТМИ МАТЕРІАЛЬНИХ, ТЕПЛОВИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ РОЗРАХУНКІВ ОКРЕМИХ АПАРАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

4.1. Алгоритм розрахунку контактної апарату

Контактний апарат призначений для окиснення аміаку киснем повітря на платно-родієво-паладієвому каталізаторові (сітках).

Апарат складається із двох частин: верхня частина – зовнішній конус з еліптичним верхнім днищем. В нижній частині внутрішнього пристрою встановлена касета з каталізаторними сітками. Над сітками розташований запальний пристрій. Нижня частина – циліндр, що переходить в конус, до знаходиться перегрівач котла-утилізатора. В місці переходу внутрішнього конусу в циліндр розташовані газорозподільні решітки [2].

Вихідні дані

Продуктивність схеми за 100%-вою кислотою, т/год.: $Q = 15$.

Ступінь конверсії аміаку, частка: $a_1 = 0,96$.

Ступінь абсорбції оксидів азоту, частка: $a_2 = 0,99$.

Тиск в конверторі, атм: $P = 7,3$.

Вміст аміаку в суміші, що надходить на конверсію, %об.: $C = 10,01$.

Температура нітрозних газів, °С: $t_k = 900$.

Температура аміаку на вході у змішувач, °С: $t_{NH_3} = 100$.

Діаметр платиного дроту, см: $D = 0,0067$.

Число плетінь на 1 см²: $n_0 = 1024$.

Активна поверхня сітки, м²/м²: $S_{akt} = 1,81$.

Коефіцієнт запасу каталізатору: $K_z = 2$.

Діаметр стандартної сітки, м: $D_r = 1,7$.

Вільний об'єм сітки: $EPS = 0,548$.

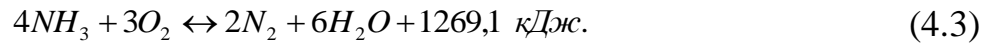
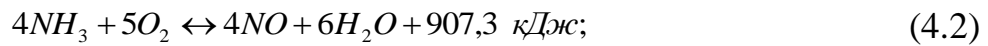
Розрахунок матеріального балансу

Мета розрахунку матеріального балансу – визначити кількість і склад газу на виході із контактної апарату.

Сумарна реакція утворення HNO_3 , не враховуючи побічні реакції описується рівнянням (4.1):



Реакції, що протікають в контактному апараті:



Теоретична витрата аміаку на 1 тону HNO_3 (100%) згідно рівняння (4.1) становить, кг:

$$T = \frac{M(\text{NH}_3)}{M(\text{HNO}_3)} \cdot 1000,$$

де $M(\text{NH}_3)$ – молярна маса аміаку, г/моль; $M(\text{HNO}_3)$ – молярна маса азотної кислоти, г/моль.

Враховуючи ступінь конверсії та адсорбції, фактична витрата аміаку складе, кг:

$$N0 = \frac{T}{a1 \cdot a2}.$$

Витрата аміаку за одну годину складе, кг/год.:

$$m\text{NH}_3 = N0 \cdot Q.$$

Витрата аміаку за одну годину в перерахунку на кмоль аміаку, кмоль/год.:

$$n\text{NH}_3 = m\text{NH}_3 / 17.$$

Витрата повітря, кмоль/год.:

$$n\text{POV} = n\text{NH}_3 \cdot \frac{100 - C}{C}.$$

Вважаючи, що об'ємна (молярна) частка кисню у повітрі становить 0,206; азоту – 0,777 (разом з аргоном), решта – вода, визначимо витрату кисню, кмоль/год. та кг/год.:

$$n\text{O}_2 = n\text{POV} \cdot 0,206;$$

$$m\text{O}_2 = n\text{O}_2 \cdot 32$$

Витрата азоту, кмоль/год та кг/год.:

$$n\text{N}_2 = n\text{POV} \cdot 0,777;$$

$$mN_2 = nN_2 \cdot 28.$$

Витрата води, кмоль/год та кг/год.:

$$nH_2O = nPOV - (nO_2 + nN_2);$$

$$mH_2O = nH_2O \cdot 18.$$

Молярна витрата газу, що надходить на конверсію, кмоль/год.:

$$K = nNH_3 + nPOV.$$

Масова витрата газу, що надходить на конверсію, кг/год.:

$$L = mNH_3 + mO_2 + mN_2 + mH_2O.$$

За реакцією (4.2) витрата NO буде становити, кмоль/год. та кг/год.:

$$M_1 = nNH_3 \cdot a_1;$$

$$N_1 = M_1 \cdot 30.$$

Кількість азоту, що утвориться за реакцією (4.3), кмоль/год.:

$$X_1 = nNH_3 \cdot (1 - a_1) / 2.$$

За обома реакціями (4.2) та (4.3) кількість кисню, що прореагував, кмоль/год.:

$$X_2 = nNH_3 \cdot 1,25 \cdot a_1 + nNH_3 \cdot 0,75 \cdot (1 - a_1).$$

Кількість парів води, що утворюються за реакціями (4.2) та (4.3), кмоль/год.:

$$X_3 = nNH_3 \cdot 1,5.$$

У нітрозному газі лишилося кисню, кмоль/год та кг/год.:

$$M_2 = nO_2 - X_2;$$

$$N_2 = M_2 \cdot 32.$$

Загальна витрата води в нітрозному газі, кмоль/год. та кг/год.:

$$M_3 = nH_2O + X_3;$$

$$N_3 = M_3 \cdot 18.$$

Загальна кількість азоту в нітрозному газі, кмоль/год та кг/год.:

$$M_4 = nN_2 + X_2;$$

$$N_4 = M_4 \cdot 28.$$

Молярна витрата нітрозного газу, кмоль/год.:

$$M = M1 + M2 + M3 + M4.$$

Масова витрата нітрозного газу, кг/год.:

$$N = N1 + N2 + N3 + N4.$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Матеріальний баланс контактного апарату

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год	%мас.
NH ₃	$n_{NH3} \cdot 22,4$	$\frac{n_{NH3}}{K} \cdot 100$	m_{NH3}	$\frac{m_{NH3}}{L} \cdot 100$	-	-	-	-
O ₂	$n_{O2} \cdot 22,4$	$\frac{n_{O2}}{K} \cdot 100$	m_{O2}	$\frac{m_{O2}}{L} \cdot 100$	$M2 \cdot 22,4$	$\frac{M2}{M} \cdot 100$	$N2$	$\frac{N2}{N} \cdot 100$
N ₂	$n_{N2} \cdot 22,4$	$\frac{n_{N2}}{K} \cdot 100$	m_{N2}	$\frac{m_{N2}}{L} \cdot 100$	$M4 \cdot 22,4$	$\frac{M4}{M} \cdot 100$	$N4$	$\frac{N4}{N} \cdot 100$
NO	-	-	-	-	$M1 \cdot 22,4$	$\frac{M1}{M} \cdot 100$	$N1$	$\frac{N1}{N} \cdot 100$
H ₂ O	$n_{H2O} \cdot 22,4$	$\frac{n_{H2O}}{K} \cdot 100$	m_{H2O}	$\frac{m_{H2O}}{L} \cdot 100$	$M3 \cdot 22,4$	$\frac{M3}{M} \cdot 100$	$N3$	$\frac{N3}{N} \cdot 100$
Разом	$K \cdot 22,4$	100	L	100	$M \cdot 22,4$	100	N	100

Таблиця 4.2 – Матеріальний баланс контактного апарату (контрольний розрахунок)

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год	%мас.
NH ₃	5611,67	10,01	4258,86	6,19	-	-	-	-
O ₂	10392,49	18,54	14846,42	21,58	3490,14	6,07	4985,91	7,25
N ₂	39198,87	69,92	48998,58	71,23	39311,10	68,41	49138,87	71,43
NO	-	-	-	-	5387,21	9,38	7215,01	10,49
H ₂ O	857,64	1,53	689,17	1,00	9275,14	16,14	7453,24	10,83
Разом	56060,66	100,00	68793,03	100,00	57463,59	100,00	68793,03	100,00

Розрахунок теплового балансу

Мета теплового балансу – розрахувати температуру АПС на вході до контактного апарату та температуру повітря на вході до змішувача.

Прихід теплоти реакції окиснення аміаку (4.2), кДж/год.:

$$Q_1 = 907300 \cdot a_1 \cdot n_{NH_3} / 4.$$

Прихід теплоти реакції окиснення аміаку (4.3), кДж/год.:

$$Q_2 = 1269100 \cdot (1 - a_1) \cdot n_{NH_3} / 4.$$

Розраховуємо теплоємність газової суміші за температури 200 °С та t_k .

Теплота нітрозних газів, кДж/год.:

$$Q_4 = M \cdot C_{pk} \cdot t_k,$$

де C_{pk} – теплоємність нітрозних газів, при температурі t_k , кДж/(кмоль·гр.).

Втрати теплоти шляхом випромінювання, що викликає зниження температури сіток, приймаємо рівним 1%, кДж/год.:

$$Q_5 = Q_4 \cdot 0,01.$$

Прихід теплоти з АПС, кДж/год.:

$$Q_3 = Q_4 + Q_5 - Q_1 - Q_2.$$

Температура АПС становить, °С:

$$t_0 = \frac{Q_3}{C_{p0} \cdot K},$$

де C_{p0} – теплоємність АПС за температури 200 °С, кДж/(кмоль·гр.).

Для забезпечення даної температури АПС, що надходить до контактного апарату, необхідно підігріти повітря до температури:

$$t_{POV} = \frac{Q_3 - n_{NH_3} \cdot C_{pNH_3} \cdot t_{NH_3}}{(n_{O_2} + n_{N_2} + n_{H_2O}) \cdot 29.5},$$

де C_{pNH_3} – теплоємність аміаку при температурі t_{NH_3} , кДж/(кмоль·гр.).

Результати розрахунків заносимо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Тепловий баланс конверсії аміаку

Прихід			Вихід		
Стаття	кДж/год.	%	Стаття	кДж/год.	%
Теплота реакції утворення NO	Q_1	$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \cdot 100$	Теплота нітрозних газів	Q_4	$\frac{Q_4}{Q_4 + Q_5} \cdot 100$
Теплота реакції утворення N ₂	Q_2	$\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \cdot 100$			
Фізична теплота АПС	Q_3	$\frac{Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \cdot 100$			
Всього	$Q_1 + Q_2 + Q_3$	100	Всього	$Q_4 + Q_5$	100

Таблиця 4.4 – Тепловий баланс конверсії аміаку (контрольний розрахунок)

Прихід			Вихід		
Стаття	кДж/год.	%	Стаття	кДж/год.	%
Теплота реакції утворення NO	54551467	73,31	Теплота нітрозних газів	73673318	99,00
Теплота реакції утворення N ₂	3179363	4,27			
Фізична теплота АПС	16679221	22,42	Втрати теплоти	736733,18	1,00
Всього	74410052	100,00	Всього	74410052	100,00

4.2 Алгоритм розрахунку окиснювача з підігрівачем повітря

Окиснювач з підігрівачем повітря призначений для окиснення нітрозних газів та підігріву повітря.

Апарат складається з окиснювача із вмонтованим в його верхню частину підігрівача повітря.

Підігрівач повітря призначений для підігріву повітря нітрозними газами, що надходять із окиснювача. Він являє собою кожухотрубний теплообмінник з прямими трубками. Повітря надходить в міжтрубний простір, а нітрозні газу – в трубний простір.

Окиснювач призначений для окиснення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV) киснем, який міститься в нітрозних газах.

В нижній частині апарату встановлені фільтруючі елементи із склотканини УТВ-20, для уловлення платини із газової фази [1]

Вихідні дані

Склад газу на вході до окиснювача наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Склад нітрозного газу на вході до окиснювача

Компонент	Ідентифікатор	нм ³ /год.	Ідентифікатор	%об
NO	VNO0	3627,56	CNO0	6,41
NO ₂	VNO20	1759,65	CNO20	3,12
O ₂	VO20	2610,31	CO20	4,61
N ₂	VN20	39311,10	CN20	69,47
H ₂ O	VH200	9275,14	CH200	16,39
Всього	Vzag0	56583,76	-	100,00

Тиск в окиснювачі, атм: $P = 7,3$.

Температура нітрозних газів на вході до окиснювача, °C, $t_0 = 315$.

Температура нітрозних газів на виході із окиснювача, °C, $t_k = 250$.

Температура повітря на вході до підігрівача, °C, $tp_0 = 170$.

Температура повітря на виході із підігрівача, °C, $tp_k = 237$.

Витрата повітря в підігрівач, нм³/год.: $V_p = 50449$.

Внутрішній діаметр окиснювача, м: $D = 3,2$.

Висота окиснювального об'єму, м: $H = 10$.

Діаметр підігрівача повітря, м: $D_p = 1$.

Кількість трубок: $N_{tr} = 747$.

Довжина трубок, м: $L_t = 4$.

Зовнішній діаметр трубок, м: $d_z = 0,025$.

Внутрішній діаметр трубок, м: $d_v = 0,021$.

Внутрішній діаметр трубопроводу від окиснювача до підігрівача хвостових газів II-го ступеня, м: $D_{tr} = 0,62$.

Довжина трубопроводу, м: $L_{tr} = 22$.

Розрахунок матеріального балансу

Мета розрахунку полягає у визначенні ступеня окиснення оксиду азоту (II) та складання матеріального балансу процесу окиснення, що протікає у окиснювачі.

Середня температура нітрозних газів, °С:

$$dt = \frac{t_0 - t_k}{\ln\left(\frac{t_0}{t_k}\right)}$$

Вільний (окисний) об'єм, м³:

$$V_v = 0,785 \cdot D^2 \cdot H.$$

Об'ємна витрата нітрозних газів за робочих умов, м³/с:

$$V_0 = V_{zag0} \cdot \frac{dt + 273,2}{3600 \cdot 273,2 \cdot P}$$

Час перебування нітрозних газів в окиснювачі, с:

$$\tau = \frac{V_v}{V_0}$$

Константа швидкості реакцій окиснення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV), атм⁻²·с⁻¹:

$$K = 4,2 \cdot \frac{705 - dt}{36 + dt}$$

Половинна початкова концентрація оксиду азоту (II) та початкова концентрація кисню в нітрозному газі відповідно, частка:

$$a = \frac{C_{NO0}}{2 \cdot 100};$$

$$b = \frac{CO_20}{100}$$

Розраховуємо ступінь окиснення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV) X , частка.

Масова витрата оксиду азоту (II) на вході до окиснювача, кг/год.:

$$m_{NO0} = V_{NO0} \cdot 30 / 22,4.$$

Масова витрата оксиду азоту (IV) на вході до окиснювача, кг/год.:

$$m_{NO0} = V_{NO0} \cdot 30 / 22,4.$$

Масова витрата кисню на вході до окиснювача, кг/год.:

$$mO20 = VO20 \cdot 32 / 22,4.$$

Масова витрата азоту на вході до окиснювача, кг/год.:

$$mN20 = VN20 \cdot 28 / 22,4.$$

Масова витрата парів води на вході до окиснювача, кг/год.:

$$mH2O0 = VH2O0 \cdot 18 / 22,4.$$

Масова витрата нітрозних газів на вході до окиснювача, кг/год.:

$$mZAG0 = mNO0 + mNO20 + mO20 + mN20 + mH2O0.$$

В результаті окиснення, витрата оксиду азоту (IV) на виході із окиснювача, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VNO2 = VNO20 + VNO0 \cdot X;$$

$$mNO2 = VNO2 \cdot 46 / 22,4.$$

Витрата кисню на виході із окиснювача, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VO2 = VO20 \cdot -0,5 \cdot VNO0 \cdot X;$$

$$mO2 = VO2 \cdot 32 / 22,4.$$

Витрата оксиду азоту (II) на виході із окиснювача, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VNO = VNO0 \cdot (1 - X);$$

$$mNO = VNO \cdot 30 / 22,4.$$

Витрата нітрозних газів на виході із окиснювача, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$Vzag = VNO + VNO2 + VO2 + VN20 + VH2O0;$$

$$mZAG = mNO + mNO2 + mO2 + mN20 + mH2O0.$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Матеріальний баланс окиснювача

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	VNO0	CNO0	mNO0	$\frac{mNO0}{mZAG0} \cdot 100$	VNO	$\frac{VNO}{Vzag} \cdot 100$	mNO	$\frac{mNO}{mZAG} \cdot 100$
NO ₂	VNO20	CNO20	mNO20	$\frac{mNO20}{mZAG0} \cdot 100$	VNO2	$\frac{VNO2}{Vzag} \cdot 100$	mNO2	$\frac{mNO2}{mZAG} \cdot 100$
O ₂	VO20	CO20	mO20	$\frac{mO20}{mZAG0} \cdot 100$	VO2	$\frac{VO2}{Vzag} \cdot 100$	mO2	$\frac{mO2}{mZAG} \cdot 100$
N ₂	VN20	CN20	mN20	$\frac{mN20}{mZAG0} \cdot 100$	VN20	$\frac{VN20}{Vzag} \cdot 100$	mN20	$\frac{mN20}{mZAG} \cdot 100$
H ₂ O	VH2O0	CH2O0	mH2O0	$\frac{mH2O0}{mZAG0} \cdot 100$	VH2O0	$\frac{VH2O0}{Vzag} \cdot 100$	mH2O0	$\frac{mH2O0}{mZAG} \cdot 100$
Разом	Vzag0	100	mZAG0	100	Vzag	100	mZAG	100

Таблиця 4.7 – Матеріальний баланс окиснювача (контрольний розрахунок)

Компо- нент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	3627,56	6,41	4858,34	7,06	668,26	1,21	895,00	1,30
NO ₂	1759,65	3,12	3613,56	5,26	4718,94	8,57	9690,68	14,09
O ₂	2610,31	4,61	3729,02	5,42	1130,66	2,05	1615,23	2,35
N ₂	39311,10	69,47	49138,87	71,43	39311,10	71,34	49138,87	71,43
H ₂ O	9275,14	16,39	7453,24	10,83	9275,14	16,83	7453,24	10,83
Разом	56583,76	100,00	68793,02	100,00	55104,10	100,00	68973,02	100,00

Розрахунок теплового балансу

Мета розрахунку теплового балансу полягає у визначенні температури нітрозних газів на виході із окиснювача.

Розраховуємо теплоємність газової суміші за температури t_0 °C та t_k , та теплоємність повітря при температурі tp_0 та tp_k .

Прихід теплоти з нітрозними газами, МДж/год.:

$$Q_1 = \frac{Vzag_0 \cdot Cp_0 \cdot t_0}{22,4 \cdot 1000},$$

де Cp_0 – теплоємність нітрозних газів на вході до окиснювача за температури t_0 .

Теплота реакції окиснення оксиду азоту (II), МДж/год.:

$$Q_2 = 61,655 \cdot \frac{VNO_0 \cdot X}{22,4 \cdot 1000}$$

Прихід теплоти з повітрям в підігрівач, МДж/год.:

$$Q_3 = \frac{Vp \cdot C_{pp0} \cdot tp_0}{22,4 \cdot 1000},$$

де C_{pp0} – теплоємність повітря на вході до підігрівача за температури tp_0 .

Теплота, що виноситься повітрям в підігрівач, МДж/год.:

$$Q_4 = \frac{Vp \cdot C_{pp} \cdot tp_k}{22,4 \cdot 1000},$$

де C_{pp} – теплоємність повітря на виході із підігрівача за температури tp_k .

Втрати теплоти в навколишнє середовище, МДж/год.:

$$Q_5 = 0,02 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3).$$

Теплота, що виноситься нітрозними газами із окиснювача, МДж/год.:

$$Q_6 = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 - Q_5.$$

Температура нітрозних газів на виході із окиснювача, °С:

$$tk = \frac{Q_6 \cdot 22,4 \cdot 1000}{V_{zag} \cdot C_p},$$

де C_p – теплоємність нітрозних газів на виході із окиснювача за температури tk .

Отримані результати заносимо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Тепловий баланс окиснювача

Прихід			Вихід		
Стаття	МДж/год.	%	Стаття	МДж/год.	%
Фізична теплота НГ	Q_1	$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \cdot 100$	Фізична теплота НГ	Q_6	$\frac{Q_6}{Q_4 + Q_5 + Q_6} \cdot 100$
Теплота окиснення NO	Q_2	$\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \cdot 100$	Фізична теплота повітря	Q_4	$\frac{Q_4}{Q_4 + Q_5 + Q_6} \cdot 100$
Фізична теплота повітря	Q_3	$\frac{Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \cdot 100$	Втрати теплоти	Q_5	$\frac{Q_5}{Q_4 + Q_5 + Q_6} \cdot 100$
Всього	$Q_1 + Q_2 + Q_3$	100	Всього	$Q_4 + Q_5 + Q_6$	100

Таблиця 4.9 – Тепловий баланс котла-утилізатора (контрольний розрахунок)

Прихід			Вихід		
Стаття	МДж/год.	%	Стаття	МДж/год.	%
Фізична теплота НГ	24388,06	68,11	Фізична теплота НГ	19153,42	53,49
Теплота окиснення NO	8,14	0,02	Фізична теплота повітря	15934,88	44,51
Фізична теплота повітря	11408,19	31,88	Втрати теплоти	716,09	2,00
Всього	35804,39	100,00	Всього	35804,39	100,00

4.3 Алгоритм поетапного розрахунку холодильника-конденсатора

Холодильник конденсатор – вертикальний одноходовий теплообмінник, призначений для охолодження нітрозних газів.

У трубному просторі знаходиться охолоджуюча вода. В міжтрубному – нітрозні гази, азотна кислота.

В схемі встановлено 2 послідовних холодильники-конденсатори.

Вихідні дані

Склад газу на вході до холодильника-конденсатора наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Склад нітрозного газу на вході до холодильника-конденсатора

Компонент	Ідентифікатор	нм ³ /год.	Ідентифікатор	%об
NO	VNO0	442,70	CNO0	0,80
NO ₂	VNO20	4944,51	CNO20	8,99
O ₂	VO20	1017,88	CO20	1,85
N ₂	VN20	39311,10	CN20	71,49
H ₂ O	VH200	9275,14	CH200	16,87
Всього	Vzag0	54991,33	-	100,00

Тиск в ХК, атм: $P = 7,3$.

Температура нітрозних газів на вході до ХК, °С, $t_0 = 90$.

Температура нітрозних газів на виході із ХК, °С, $t_k = 35$.

Ступінь абсорбції оксидів азоту, частка: $a_2 = 0,99$.

Масова концентрація кислоти (перше наближення), %мас.: $Ck = 40$.

Продуктивність агрегату за МНГ, т/год.: $Q = 15$.

Внутрішній діаметр ХК, м: $D = 1,6$.

Довжина трубок, м: $L = 4$.

Зовнішній діаметр трубок, м: $D1 = 0,025$.

Кількість трубок: $n = 1512$.

Розігрів охолоджуючої води, °С: $R7 = 8$.

Ступінь досягнення рівноваги, частка: $R = 0,85$.

Тепловтрати, %: $Qvt = 3$.

Внутрішній діаметр трубопроводу від ХК до абсорбційної колони, м: $Dtr = 0,62$.

Довжина трубопроводу, м: $Ltr = 70$.

Витрата додаткового повітря в трубопровід після ХК, $\text{м}^3/\text{год.}$: $Qrov = 1210$.

Розрахунок матеріального балансу

Мета розрахунку полягає у визначенні ступеня окиснення оксиду азоту (II) та складання матеріального балансу процесу окиснення, що протікає у холодильнику-конденсаторі та розрахунку процесів кислотоутворення, що протікають.

Температура нітрозних газів після першого ХК, °С:

$$ts = (t0 + tk) / 2.$$

Середня температура нітрозних газів, °С:

$$dt = \frac{t0 - ts}{\ln\left(\frac{t0}{ts}\right)}.$$

Вільний (окисний) об'єм, м^3 :

$$Vv = 0,785 \cdot (D^2 - D1^2 \cdot Nn) \cdot L.$$

Об'ємна витрата нітрозних газів за робочих умов, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V0 = Vzag0 \cdot \frac{dt + 273,2}{3600 \cdot 273,2 \cdot P}.$$

Час перебування нітрозних газів в першому ХК, с:

$$\tau = \frac{V_v}{V_0}$$

Константа швидкості реакцій окиснення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV), $\text{атм}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$:

$$K = 4,2 \cdot \frac{705 - dt}{36 + dt}$$

Половинна початкова концентрація оксиду азоту (II) та початкова концентрація кисню в нітрозному газі відповідно, частка:

$$a = \frac{C_{NOO}}{2 \cdot 100};$$

$$b = \frac{CO_{20}}{100}$$

Розраховуємо ступінь окиснення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV) X , частка.

Масова витрата оксиду азоту (II) на вході до ХК, кг/год.:

$$m_{NOO} = V_{NOO} \cdot 30 / 22,4.$$

Масова витрата оксиду азоту (IV) на вході до ХК, кг/год.:

$$m_{NOO} = V_{NOO} \cdot 30 / 22,4.$$

Масова витрата кисню на вході до ХК, кг/год.:

$$m_{O_{20}} = V_{O_{20}} \cdot 32 / 22,4.$$

Масова витрата азоту на вході до ХК, кг/год.:

$$m_{N_{20}} = V_{N_{20}} \cdot 28 / 22,4.$$

Масова витрата парів води на вході до ХК, кг/год.:

$$m_{H_2O_0} = V_{H_2O_0} \cdot 18 / 22,4.$$

Масова витрата нітрозних газів на вході до ХК, кг/год.:

$$m_{ZAG_0} = m_{NOO} + m_{NO_{20}} + m_{O_{20}} + m_{N_{20}} + m_{H_2O_0}.$$

Витрата оксиду азоту (IV) після окиснення в першому ХК, $\text{нм}^3/\text{год}$. та $\text{кг}/\text{год}$.:

$$V_{NO_2} = V_{NO_{20}} + V_{NOO} \cdot X;$$

$$m_{NO_2} = V_{NO_2} \cdot 46 / 22,4.$$

Витрата кисню після окиснення в першому ХК, $\text{нм}^3/\text{год}$. та $\text{кг}/\text{год}$.:

$$VO_2 = VO_{20} \cdot -0,5 \cdot VNO_0 \cdot X;$$

$$mO_2 = VO_2 \cdot 32 / 22,4.$$

Витрата оксиду азоту (II) після окиснення в першому ХК, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VNO = VNO_0 \cdot (1 - X);$$

$$mNO = VNO \cdot 30 / 22,4.$$

Витрата нітрозних газів після окиснення в першому ХК, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$V_{zag} = VNO + VNO_2 + VO_2 + VN_2 + VH_2O_0;$$

$$mZAG = mNO + mNO_2 + mO_2 + mN_2 + mH_2O_0.$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.11.

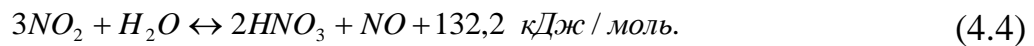
Таблиця 4.11 – Матеріальний баланс після окиснення у першому холодильнику-конденсаторі

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	$\text{нм}^3/\text{год.}$	%об.	$\text{кг}/\text{год.}$	%мас.	$\text{нм}^3/\text{год.}$	%об.	$\text{кг}/\text{год.}$	%мас.
NO	VNO_0	CNO_0	mNO_0	$\frac{mNO_0}{mZAG_0} \cdot 100$	VNO	$\frac{VNO}{V_{zag}} \cdot 100$	mNO	$\frac{mNO}{mZAG} \cdot 100$
NO ₂	VNO_2	CNO_2	mNO_2	$\frac{mNO_2}{mZAG_0} \cdot 100$	VNO_2	$\frac{VNO_2}{V_{zag}} \cdot 100$	mNO_2	$\frac{mNO_2}{mZAG} \cdot 100$
O ₂	VO_2	CO_2	mO_2	$\frac{mO_2}{mZAG_0} \cdot 100$	VO_2	$\frac{VO_2}{V_{zag}} \cdot 100$	mO_2	$\frac{mO_2}{mZAG} \cdot 100$
N ₂	VN_2	CN_2	mN_2	$\frac{mN_2}{mZAG_0} \cdot 100$	VN_2	$\frac{VN_2}{V_{zag}} \cdot 100$	mN_2	$\frac{mN_2}{mZAG} \cdot 100$
H ₂ O	VH_2O_0	CH_2O_0	mH_2O_0	$\frac{mH_2O_0}{mZAG_0} \cdot 100$	VH_2O_0	$\frac{VH_2O_0}{V_{zag}} \cdot 100$	mH_2O_0	$\frac{mH_2O_0}{mZAG} \cdot 100$
Разом	V_{zag_0}	100	$mZAG_0$	100	V_{zag}	100	$mZAG$	100

Таблиця 4.12 – Матеріальний баланс після окиснення у першому холодильнику-конденсаторі (контрольний розрахунок)

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год	%мас.
NO	442,70	0,80	592,90	0,86	376,49	0,68	504,22	0,74
NO ₂	4944,51	8,99	10153,90	14,76	5010,72	9,12	10289,87	14,96
O ₂	1017,88	1,85	1454,12	2,12	984,76	1,79	1406,82	2,04
N ₂	39311,10	71,49	49138,87	71,43	39311,10	71,53	49138,87	71,43
H ₂ O	9275,14	16,87	7453,24	10,83	9275,14	16,88	7453,24	10,83
Разом	54991,33	100,00	68793,03	100,00	54958,21	100,00	68793,03	100,00

Процес кислотоутворення відбувається за реакцією:



В першому наближенні приймається, що:

$$V_{ng} = V_{zag}.$$

Для визначення кількості води на виході з ХК використати значення парціального тиску парів води:

$$\ln PH_2O = -5299,245 / (ts + 273,2) - 0,03048 \cdot Ck + 21,662.$$

Парціальний тиск парів води на виході із ХК, атм:

$$pH_2O = \exp(\ln PH_2O) / 760.$$

Концентрація парів води на виході з ХК, частка:

$$ch_{2ovyx} = pH_2O / P.$$

Витрата парів води на виході з ХК, нм³/год.:

$$VH_{2Ovyx} = ch_{2ovyx} \cdot V_{ng}.$$

Масова витрата води, що конденсується, кг/год.:

$$GH_2O = (VH_{2O0} - VH_{2Ovyx}) \cdot 18 / 22,4.$$

Маса утвореного в першому ХК моногідрату, згідно рівняння (4.4), кг/год.:

$$x_{HNO_3} = \frac{Ck \cdot GH_2O}{100 - Ck + Ck \cdot 18 / 126}.$$

Масова витрата води з кислим конденсатом із першого ХК, кг/год.:

$$gH_{2Ok} = GH_2O - x_{HNO_3} \cdot 18 / 126.$$

Масова витрата кислого конденсату із першого ХК, кг/год.:

$$mk = xHNO_3 + gH_2O_k.$$

Витрата оксиду азоту (II) після кислотоутворення, згідно рівняння (4.4), кг/год. та нм³/год.:

$$mNO_1 = mNO + xHNO_3 \cdot 30/126;$$

$$VNO_1 = mNO_1 \cdot 22,4/30.$$

Витрата оксиду азоту (IV) після кислотоутворення, згідно рівняння (4.4), кг/год. та нм³/год.:

$$mNO_2 = mNO_2 - 3 \cdot 46 \cdot xHNO_3/126;$$

$$VNO_2 = mNO_2 \cdot 22,4/46.$$

Витрата кисню після кислотоутворення, кг/год. та нм³/год.:

$$mO_2 = mO_2;$$

$$VO_2 = mO_2 \cdot 22,4/32.$$

Витрата азоту після кислотоутворення, кг/год. та нм³/год.:

$$mN_2 = mN_2;$$

$$VN_2 = mN_2 \cdot 22,4/28.$$

Витрата парів води після кислотоутворення, кг/год. та нм³/год.:

$$mH_2O_1 = VH_2O_{vух} \cdot 18/22,4;$$

$$VH_2O_1 = VH_2O_{vух}.$$

Витрата нітрозних газів після кислотоутворення, кг/год. та нм³/год.:

$$mZAG_1 = mNO_1 + mNO_2 + mO_2 + mN_2 + mH_2O_1 + mk;$$

$$Vzag_1 = VNO_1 + VNO_2 + VO_2 + VN_2 + VH_2O_1.$$

Частинна константа рівноваги одержання кислоти:

$$\ln K = \ln \left(\frac{P \cdot \frac{VNO_1}{Vzag_1}}{\left(\frac{VNO_2}{Vzag_1} \cdot P \right)^3} \right).$$

Концентрація азотної кислоти у стані рівноваги, %:

$$Ckr = (21,98 - 0,0462 \cdot (ts + 273,2) - \ln K) / 0,1047.$$

Практична концентрація азотної кислоти на виході з першого ХК, %:

$$C_{kp} = C_{kr} \cdot R.$$

Якщо C_{kp} не збігається з раніш узятим значенням C_k , розрахунок повторюють при концентрації кислоти $C_k = C_{kp}$.

Якщо $\frac{V_{ng} - V_{zag1}}{V_{ng}} \geq 0,05$, розрахунок повторюють, присвоївши $V_{ng} = V_{zag1}$.

Якщо дві умови задовільні, отримані дані заносять до таблиці 4.13 та таблиці 4.14.

Таблиця 4.13 – Склад кислого конденсату після першого холодильника-конденсатора

Компонент	кг/год	%мас
HNO ₃	xHNO3	Ck
H ₂ O	gH2Ok	100-Ck
Всього	mk	100

Таблиця 4.14 – Матеріальний баланс першого холодильника-конденсатора після кислотоутворення

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год	%мас.
NO	VNO	$\frac{VNO}{Vzag} \cdot 100$	mNO	$\frac{mNO}{mZAG} \cdot 100$	VNO1	$\frac{VNO1}{Vzag1} \cdot 100$	mNO1	$\frac{mNO1}{mZAG1} \cdot 100$
NO ₂	VNO2	$\frac{VNO2}{Vzag} \cdot 100$	mNO2	$\frac{mNO2}{mZAG} \cdot 100$	VNO21	$\frac{VNO21}{Vzag1} \cdot 100$	mNO21	$\frac{mNO21}{mZAG1} \cdot 100$
O ₂	VO2	$\frac{VO2}{Vzag} \cdot 100$	mO2	$\frac{mO2}{mZAG} \cdot 100$	VO21	$\frac{VO21}{Vzag1} \cdot 100$	mO21	$\frac{mO21}{mZAG1} \cdot 100$
N ₂	VN20	$\frac{VN20}{Vzag} \cdot 100$	mN20	$\frac{mN20}{mZAG} \cdot 100$	VN21	$\frac{VN21}{Vzag1} \cdot 100$	mN21	$\frac{mN21}{mZAG1} \cdot 100$
H ₂ O	VH2O0	$\frac{VH2O0}{Vzag} \cdot 100$	mH2O0	$\frac{mH2O0}{mZAG} \cdot 100$	VH2O1	$\frac{VH2O1}{Vzag1} \cdot 100$	mH2O1	$\frac{mH2O1}{mZAG1} \cdot 100$
HNO ₃ (44%)	-	-	-	-	-	-	mk	$\frac{mk}{mZAG1} \cdot 100$
Разом	Vzag	100	mZAG	100	Vzag1	100	mZAG1	100

Таблиця 4.15 – Склад кислого конденсату після першого холодильника-конденсатора (контрольний розрахунок)

Компонент	кг/год	%мас
HNO ₃	4752,65	43,55
H ₂ O	6161,42	56,45
Всього	10914,07	100

Таблиця 4.16 – Матеріальний баланс першого холодильника-конденсатора після кислотоутворення (контрольний розрахунок)

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	376,49	0,68	504,22	0,74	1221,40	2,73	1635,80	2,38
NO ₂	5010,72	9,12	10289,87	14,96	2475,97	5,53	5084,59	7,39
O ₂	984,76	1,79	1406,82	2,04	984,76	2,20	1406,82	2,04
N ₂	39311,10	71,53	49138,87	71,43	39311,10	87,83	49138,87	71,43
H ₂ O	9275,14	16,88	7453,24	10,83	762,79	1,71	612,87	0,89
HNO ₃	-	-	-	-	-		10914,07	15,87
Разом	54958,21	100,00	68793,03	100,00	44755,93	100,00	68793,03	100,00

Середня температура нітрозних газів у другому ХК, °С:

$$dt = \frac{ts - tk}{\ln\left(\frac{ts}{tk}\right)}$$

Вільний (окисний) об'єм, м³:

$$V_v = 0,785 \cdot (D^2 - D_1^2 \cdot N_n) \cdot L$$

Об'ємна витрата нітрозних газів за робочих умов, м³/с:

$$V_0 = V_{zag1} \cdot \frac{dt + 273,2}{3600 \cdot 273,2 \cdot P}$$

Час перебування нітрозних газів в другому ХК, с:

$$\tau = \frac{V_v}{V_0}$$

Константа швидкості реакцій окиснення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV), атм⁻²·с⁻¹:

$$K = 4,2 \cdot \frac{705 - dt}{36 + dt}$$

Половинна початкова концентрація оксиду азоту (II) та початкова концентрація кисню в нітрозному газі відповідно, частка:

$$a = \frac{VNO1}{2 \cdot Vzag1};$$

$$b = \frac{VO21}{Vzag1}.$$

Розраховуємо ступінь окиснення оксиду азоту (II) до оксиду азоту (IV) $X1$, частка.

Масова витрата нітрозних газів на вході до другого ХК, кг/год.:

$$mZAG1 = mNO1 + mNO21 + mO21 + mN21 + mH2O1.$$

Витрата оксиду азоту (IV) після окиснення в другому ХК, $nm^3/год.$ та $кг/год.$:

$$VNO22 = VNO21 + VNO1 \cdot X1;$$

$$mNO22 = VNO22 \cdot 46 / 22,4.$$

Витрата кисню після окиснення в другому ХК, $nm^3/год.$ та $кг/год.$:

$$VO22 = VO21 - 0,5 \cdot VNO1 \cdot X1;$$

$$mO22 = VO22 \cdot 32 / 22,4.$$

Витрата оксиду азоту (II) після окиснення в другому ХК, $nm^3/год.$ та $кг/год.$:

$$VNO11 = VNO1 \cdot (1 - X1);$$

$$mNO11 = VNO11 \cdot 30 / 22,4.$$

Витрата нітрозних газів після окиснення в першому ХК, $nm^3/год.$ та $кг/год.$:

$$Vzag2 = VNO11 + VNO22 + VO22 + VN21 + VH2O1;$$

$$mZAG2 = mNO11 + mNO22 + mO22 + mN21 + mH2O1.$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.17.

Таблиця 4.17 – Матеріальний баланс після окиснення у другому холодильнику-конденсаторі

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	VNO1	$\frac{VNO1}{Vzag1} \cdot 100$	mNO1	$\frac{mNO1}{mZAG1} \cdot 100$	VNO11	$\frac{VNO11}{Vzag2} \cdot 100$	mNO11	$\frac{mNO11}{mZAG2} \cdot 100$
NO ₂	VNO21	$\frac{VNO21}{Vzag1} \cdot 100$	mNO21	$\frac{mNO21}{mZAG1} \cdot 100$	VNO22	$\frac{VNO22}{Vzag2} \cdot 100$	mNO22	$\frac{mNO22}{mZAG2} \cdot 100$
O ₂	VO21	$\frac{VO21}{Vzag1} \cdot 100$	mO21	$\frac{mO21}{mZAG1} \cdot 100$	VO22	$\frac{VO22}{Vzag2} \cdot 100$	mO22	$\frac{mO22}{mZAG2} \cdot 100$
N ₂	VN21	$\frac{VN21}{Vzag1} \cdot 100$	mN21	$\frac{mN21}{mZAG1} \cdot 100$	VN21	$\frac{VN21}{Vzag2} \cdot 100$	mN21	$\frac{mN21}{mZAG2} \cdot 100$
H ₂ O	VH2O1	$\frac{VH2O1}{Vzag1} \cdot 100$	mH2O1	$\frac{mH2O1}{mZAG1} \cdot 100$	VH2O1	$\frac{VH2O1}{Vzag2} \cdot 100$	mH2O1	$\frac{mH2O1}{mZAG2} \cdot 100$
Разом	Vzag1	100	mZAG1	100	Vzag2	100	mZAG2	100

Таблиця 4.18 – Матеріальний баланс після окиснення у другому холодильнику-конденсаторі (контрольний розрахунок)

Компо- нент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	1221,40	2,73	1635,81	2,83	591,45	1,33	792,12	1,37
NO ₂	2475,97	5,53	5084,59	8,78	3105,92	6,99	6378,24	11,02
O ₂	984,76	2,20	1406,82	2,43	669,80	1,51	956,86	1,65
N ₂	39311,10	87,83	49138,87	84,90	39311,10	88,45	49138,87	84,90
H ₂ O	762,79	1,71	612,87	1,06	762,79	1,72	612,87	1,06
Разом	44755,93	100,00	57878,96	100,00	44440,96	100,00	57878,96	100,00

В першому наближенні приймається, що:

$$Vng = Vzag2.$$

Для визначення кількості води на виході з ХК використати значення парціального тиску парів води:

$$\ln PH2O = -5299,245 / (ts + 273,2) - 0,03048 \cdot Ck + 21,662.$$

Парціальний тиск парів води на виході із ХК, атм:

$$pH2O = \exp(\ln PH2O) / 760.$$

Концентрація парів води на виході з ХК, частка:

$$ch2ovyx = pH2O / P.$$

Витрата парів води на виході з ХК, нм³/год.:

$$VH2Ovux = ch2ovyx \cdot Vng.$$

Масова витрата води, що конденсується, кг/год.:

$$GH2O = (VH2O1 - VH2Ovux) \cdot 18 / 22,4.$$

Маса утвореного в другому ХК моногідрату, згідно рівняння (4.4), кг/год.:

$$xHNO31 = \frac{Ck \cdot GH2O}{100 - Ck + Ck \cdot 18 / 126}.$$

Масова витрата води з кислим конденсатом із другого ХК, кг/год.:

$$gH2Ok1 = GH2O - xHNO31 \cdot 18 / 126.$$

Масова витрата кислого конденсату із другого ХК, кг/год.:

$$mk1 = xHNO31 + gH2Ok1.$$

Витрата оксиду азоту (II) після кислотоутворення, згідно рівняння (4.4), кг/год. та нм³/год.:

$$mNO3 = mNO11 + xHNO31 \cdot 30 / 126;$$

$$VNO3 = mNO3 \cdot 22,4 / 30.$$

Витрата оксиду азоту (IV) після кислотоутворення, згідно рівняння (4.4), кг/год. та нм³/год.:

$$mNO23 = mNO22 - 3 \cdot 46 \cdot xHNO31 / 126;$$

$$VNO23 = mNO23 \cdot 22,4 / 46.$$

Витрата кисню після кислотоутворення, згідно рівняння (4.4), кг/год. та нм³/год.:

$$mO23 = mO22;$$

$$VO23 = mO23 \cdot 22,4 / 32.$$

Витрата азоту після кислотоутворення, кг/год. та нм³/год.:

$$mN23 = mN21;$$

$$VN23 = mN21 \cdot 22,4 / 28.$$

Витрата парів води після кислотоутворення, кг/год. та нм³/год.:

$$mH2O3 = VH2Ovux \cdot 18 / 22,4;$$

$$VH_2O_3 = VH_2O_{\text{вух.}}$$

Витрата нітрозних газів після кислотоутворення, кг/год. та $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$mZAG_3 = mNO_3 + mNO_2 + mO_2 + mN_2 + mH_2O_3 + mk_1;$$

$$Vzag_3 = VNO_3 + VNO_2 + VO_2 + VN_2 + VH_2O_3.$$

Частинна константа рівноваги одержання кислоти:

$$\ln K = \ln \left(\frac{P \cdot \frac{VNO_3}{Vzag_3}}{\left(\frac{VNO_2}{Vzag_3} \cdot P \right)^3} \right).$$

Концентрація азотної кислоти у стані рівноваги, %:

$$Ckr = (21,98 - 0,0462 \cdot (tk + 273,2) - \ln K) / 0,1047.$$

Практична концентрація азотної кислоти на виході з другого ХК, %:

$$Ckp_1 = Ckr \cdot R.$$

Якщо Ckp_1 не збігається з раніш узятим значенням Ck , розрахунок повторюють при концентрації кислоти $Ck = Ckp_1$.

Якщо $\frac{Vng - Vzag_3}{Vng} \geq 0,05$, розрахунок повторюють, присвоївши $Vng = Vzag_3$.

Якщо дві умови задовільні, отримані дані заносять до таблиці 4.19 та таблиці 4.20.

Таблиця 4.19 – Склад кислого конденсату після першого холодильника-конденсатора

Компонент	кг/Год	%мас
HNO_3	$xHNO_3$	Ck
H_2O	gH_2Ok_1	$100 - Ck$
Всього	mk_1	100

Таблиця 4.20 – Матеріальний баланс першого холодильника-конденсатора після кислотоутворення

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	VNO11	$\frac{VNO11}{Vzag2} \cdot 100$	mNO11	$\frac{mNO11}{mZAG2} \cdot 100$	VNO3	$\frac{VNO3}{Vzag3} \cdot 100$	mNO3	$\frac{mNO3}{mZAG3} \cdot 100$
NO ₂	VNO22	$\frac{VNO22}{Vzag2} \cdot 100$	mNO22	$\frac{mNO22}{mZAG2} \cdot 100$	VNO23	$\frac{VNO23}{Vzag3} \cdot 100$	mNO23	$\frac{mNO23}{mZAG3} \cdot 100$
O ₂	VO22	$\frac{VO22}{Vzag2} \cdot 100$	mO22	$\frac{mO22}{mZAG2} \cdot 100$	VO23	$\frac{VO23}{Vzag3} \cdot 100$	mO23	$\frac{mO23}{mZAG3} \cdot 100$
N ₂	VN21	$\frac{VN21}{Vzag2} \cdot 100$	mN21	$\frac{mN21}{mZAG2} \cdot 100$	VN23	$\frac{VN23}{Vzag3} \cdot 100$	mN23	$\frac{mN23}{mZAG3} \cdot 100$
H ₂ O	VH2O1	$\frac{VH2O1}{Vzag2} \cdot 100$	mH2O1	$\frac{mH2O1}{mZAG2} \cdot 100$	VH2O3	$\frac{VH2O3}{Vzag3} \cdot 100$	mH2O3	$\frac{mH2O3}{mZAG3} \cdot 100$
HNO ₃ (44%)	-	-	-	-	-	-	mk1	$\frac{mk1}{mZAG3} \cdot 100$
Разом	Vzag2	100	mZAG2	100	Vzag3	100	mZAG3	100

Таблиця 4.21 – Склад кислого конденсату після першого холодильника-конденсатора (контрольний розрахунок)

Компонент	кг/год	%мас
HNO ₃	679,02	61,19
H ₂ O	430,72	38,81
Всього	1109,74	100,00

Таблиця 4.22 – Матеріальний баланс другого холодильника-конденсатора після кислотоутворення (контрольний розрахунок)

Компо- нент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	591,45	1,33	792,12	1,37	712,17	1,64	953,79	1,65
NO ₂	3105,92	6,99	6378,24	11,02	2743,78	6,30	5634,55	9,73
O ₂	669,80	1,51	956,86	1,65	669,80	1,54	956,86	1,65
N ₂	39311,10	88,45	49138,87	84,90	39311,10	90,28	49138,87	84,90
H ₂ O	762,79	1,72	612,87	1,06	105,97	0,24	85,15	0,15
HNO ₃	-	-	-	-	-	-	1109,74	1,92
Разом	44440,96	100,00	57878,96	100,00	43542,81	100,00	57878,96	100,00

Всього утвориться моногідрату та конденсується води, кг/год.:

$$gMNG = xHNO_3 + xHNO_31;$$

$$gH_2O_{zag} = gH_2O_k + gH_2O_{k1}.$$

Масова витрата кислого конденсату із двох ХК, кг/год.:

$$Gkk = gMNG + gH_2O_{zag}.$$

Масова концентрація кислоти в конденсаті, %мас.:

$$Ckk = gMNG / Gkk \cdot 100.$$

Розрахунок теплового балансу

Мета розрахунку теплового балансу полягає у визначенні витрати води на охолодження холодильників-конденсаторів.

Розраховуємо теплоємність газової суміші за температури t_0 °С та t_k .

Прихід теплоти з нітрозними газами, МДж/год.:

$$Q_1 = \frac{V_{zag0} \cdot C_{p0} \cdot t_0}{22,4 \cdot 1000},$$

де C_{p0} – теплоємність нітрозних газів на вході до ХК за температури t_0 .

Теплота утворення HNO_3 , згідно рівняння (4.4), МДж/год.:

$$Q_2 = \frac{136,2 \cdot (3 \cdot xHNO_31 \cdot 22,4/126 + 3 \cdot xHNO_3 \cdot 22,4/126)}{3 \cdot 22,4}.$$

Теплота розведення кислоти, МДж/год.:

$$Q_3 = \frac{xHNO_3}{63} \cdot (31,412 + 0,0667 \cdot C_{kp} - 0,0038 \cdot C_{kp}^2) + \frac{xHNO_31}{63} \cdot (31,412 + 0,0667 \cdot C_{kp1} - 0,0038 \cdot C_{kp1}^2)$$

Теплота реакції окиснення NO, МДж/год.:

$$Q_4 = \frac{61,655 \cdot ((VNO_2 - VNO_{20}) + (VNO_{22} - VNO_{21}))}{22,4}.$$

Теплота конденсації парів води, МДж/год.:

$$Q_5 = \frac{(663 - t_k) \cdot 4,1867 \cdot gH_2O_{zag}}{1000}.$$

Теплота нітрозних газів, що виходять із ХК, МДж/год.:

$$Q_6 = \frac{V_{zag3} \cdot C_p \cdot t_k}{22,4 \cdot 1000},$$

де C_p – теплоємність нітрозних газів на виході із ХК за температури t_k .

Теплоємність кислоти, концентрацією C_{kp} та C_{kp1} , кДж/(кг·град):

$$C_{kp1} = 4,1867 \cdot (1,006 - 0,0126 \cdot C_{kp} + 0,0001635 \cdot C_{kp}^2 - 0,0000009024 \cdot C_{kp}^3);$$

$$C_{kp2} = 4,1867 \cdot (1,006 - 0,0126 \cdot C_{kp1} + 0,0001635 \cdot C_{kp1}^2 - 0,0000009024 \cdot C_{kp1}^3).$$

Теплота з кислим конденсатом, МДж/год.:

$$Q7 = (mk \cdot tk \cdot C_{kp1} + mk1 \cdot tk \cdot C_{kp2}) / 1000.$$

Прихід теплоти, МДж/год.:

$$Q_{pr} = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5.$$

Втрати теплоти, МДж/год.:

$$Q8 = Q_{pr} \cdot Q_{vt} / 100.$$

Теплота на нагрівання води, МДж/год.:

$$Q9 = Q_{pr} - Q6 - Q7 - Q8.$$

Витрата теплоти, МДж/год.:

$$Q_v = Q6 + Q7 + Q8 + Q9.$$

Витрата води на охолодження, кг/год.:

$$RH_{2O} = \frac{Q9 \cdot 1000}{4,2 \cdot R7}.$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.23.

Таблиця 4.23 – Тепловий баланс підігрівача холодильника-конденсатора

Прихід			Вихід		
Стаття	МДж/год.	%	Стаття	МДж/год.	%
Фізична теплота НГ	$Q1$	$\frac{Q1}{Q_{pr}} \cdot 100$	Фізична теплота НГ	$Q6$	$\frac{Q6}{Q_v} \cdot 100$
Теплота утворення HNO_3	$Q2$	$\frac{Q2}{Q_{pr}} \cdot 100$	Фізична теплота конденсату	$Q7$	$\frac{Q7}{Q_v} \cdot 100$
Теплота розведення кислоти	$Q3$	$\frac{Q3}{Q_{pr}} \cdot 100$	Теплота на нагрів	$Q9$	$\frac{Q9}{Q_v} \cdot 100$
Теплота окиснення NO	$Q4$	$\frac{Q4}{Q_{pr}} \cdot 100$	Втрати теплоти	$Q8$	$\frac{Q8}{Q_v} \cdot 100$
Теплота конденсації	$Q5$	$\frac{Q5}{Q_{pr}} \cdot 100$			
Всього	Q_{pr}	100	Всього	Q_v	100

Таблиця 4.24 – Тепловий баланс підігрівача хвостових газів I-го ступеня (контрольний розрахунок)

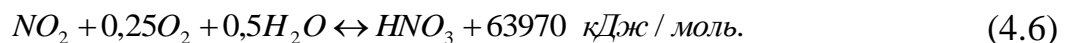
Прихід			Вихід		
Стаття	МДж/год.	%	Стаття	МДж/год.	%
Фізична теплота НГ	6787,63	14,02	Фізична теплота НГ	2036,84	4,21
Теплота утворення HNO_3	5871,38	12,13	Фізична теплота конденсату	1212,2	2,50
Теплота розведення кислоти	16485,52	34,06	Теплота на нагрів	43702,6	90,29
Теплота окиснення NO	1926,88	3,98	Втрати теплоти	1452,11	3,00
Теплота конденсації	17332,35	35,81			
Всього	48403,75	100,00	Всього	48403,75	100,00

4.4 Алгоритм розрахунку абсорбційної колони

Абсорбційна колона призначена для абсорбції оксидів азоту із нітрозних газів конденсатом водяної пари з утворенням продукційної азотної кислоти концентрацією (57 ÷ 60) %.

Являє собою вертикальний циліндричний апарат, в якому розміщено 47 сітчастих тарілок. Діаметр отворів сітчастих тарілок – 2 мм. Дванадцять верхніх і деякі середні тарілки колони не мають охолоджуючих змійовиків. Тарілки оснащені охолоджуючими змійовиками. Нітрозні гази входять під нижню (1 ÷ 10) тарілку, хвостові гази виходять зверху.

Процес кислотоутворення описується рівняннями:



Вихідні дані

Склад газу на вході під першу тарілку наведено в таблиці 4.25.

Таблиця 4.25 – Склад нітрозних газів на вході до абсорбційної колони

Компонент	Ідентифікатор	%об
NO	C1	0,50
NO ₂	C2	7,27
O ₂	C3	1,51
N ₂	C5	90,44
H ₂ O	C4	0,28
Всього	-	100,00

Тиск в колоні, атм: $P = 7,3$.

Масова витрата кислоти із ХК, кг/год.: $\mu_{02} = 12024$.

Концентрація кислоти на виході із ХК, %мас.: $c_{92} = 45,2$.

Ступінь абсорбції оксидів азоту, частка: $M1 = 0,99$.

Продуктивність агрегату за МНГ, т/год.: $q_0 = 15$.

Концентрація продукційної кислоти, %мас.: $C_0 = 58$.

Діаметр абсорбційної колони, м: $D = 3,2$.

Кількість тарілок, шт.: $n = 47$.

Розігрів охолоджуючої води, °С: $RV = 7$.

Температура кислоти із ХК, °С: $t_{92} = 60$.

Температура води на зрошення, °С: $TH = 35$.

Температура продукційної кислоти, °С: $T_3 = 45$.

Витрата газу із продувної колони, нм³/год.: $V_p = 8739,5..$

Концентрація парів води у газі із продувної колони, %об.: $CH_2Op = 0,67$.

Діаметр отворів на тарілках, м: $D_9 = 0,002$

Площа вільного перетину сітчастих тарілок, %: $s_9 = 4$.

Температура нітрозних газів на (1 ÷ 10) тарілках, К: $T(i) = 326 - 1,8 \cdot i$; на (11 ÷ 20) тарілках, К: $T(i) = 310 - 1,3 \cdot i$; (21 ÷ 47) тарілках, К: $T(i) = 303$.

Висота переливу на 1-ій тарілці, м: $H(1) = 0,15$; на (2 ÷ 4)-ій тарілці, м: $H(i) = 0,08$; на (5 ÷ 7)-ій тарілці, м: $H(i) = 0,07$; на (8 ÷ 10)-ій тарілці, м: $H(i) = 0,06$; на 11-ій тарілці, м: $H(11) = 0,055$; на (12 ÷ 16)-ій тарілці, м: $H(i) = 0,05$; на (17 ÷ 47)-ій тарілці, м: $H(i) = 0,04$;

Відстань між тарілками $A(i)$: на 2 – 1.2; на (3 ÷ 12) – 1; на (13 ÷ 47) – 0,7.

Висоту вільного окислювального об'єму $B(i)$: на 1 – 1,5; на (2 ÷ 47) –
 $B(i) = A(i) - H(i - 1)$

Розрахунок матеріального балансу абсорбційної колони:

Мета розрахунку полягає у визначенні витрати води на утворення кислоти в колоні та витрату хвостових газів за заданим ступенем переробки оксидів азоту в азотну кислоту.

Продуктивність агрегату за моногідратом, кмоль/год.:

$$G = \frac{q0 \cdot 1000}{63}$$

У колону з конденсатом надходить моногідрату та води відповідно, кмоль/год.:

$$u6 = \frac{u02 \cdot c92}{100 \cdot 63};$$

$$u7 = \frac{u02 \cdot (100 - c92)}{100 \cdot 18}$$

Кількість нітрозних газів, що має надійти з ХК, щоб забезпечити задану продуктивність, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V0 = \frac{G - u6}{N1 \cdot \frac{(C1 + C2)}{100}} \cdot 22,4$$

Витрата оксиду азоту (II) на вході під нижню тарілку АК, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$u1 = V0 \cdot \frac{C1}{100};$$

$$KG1 = \frac{u1 \cdot 30}{22,4}$$

Витрата оксиду азоту (IV) на вході під нижню тарілку АК, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$u2 = V0 \cdot \frac{C2}{100};$$

$$KG2 = \frac{u2 \cdot 46}{22,4}$$

Витрата кисню на вході під нижню тарілку АК з урахуванням продувних газів, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$u3 = V0 \cdot \frac{C3}{100} + Vp \cdot \left(1 - \frac{CH2Op}{100}\right) \cdot 0,2095;$$

$$KG3 = \frac{u3 \cdot 32}{22,4}.$$

Витрата азоту на вході під нижню тарілку АК з урахуванням продувних газів, нм³/год. та кг/год.:

$$u5 = V0 \cdot \frac{C5}{100} + Vp \cdot \left(1 - \frac{CH2Op}{100}\right) \cdot 0,7905;$$

$$KG5 = \frac{u5 \cdot 28}{22,4}.$$

Витрата парів води на вході під нижню тарілку АК з урахуванням продувних газів, нм³/год. та кг/год.:

$$u4 = V0 \cdot \frac{C4}{100} + Vp \cdot \frac{CH2Op}{100};$$

$$KG4 = \frac{u4 \cdot 18}{22,4}.$$

Витрата нітрозних газів на вході під нижню тарілку АК з урахуванням продувних газів, нм³/год. та кг/год.:

$$V0 = u1 + u2 + u3 + u4 + u5;$$

$$KG6 = KG1 + KG2 + KG3 + KG4 + KG5.$$

У колоні поглинається NO та NO₂, згідно рівняння (4.5) та (4.6) відповідно, нм³/год.:

$$g2 = u1 \cdot N1;$$

$$g3 = u2 \cdot N1.$$

Кількість кисню, необхідного, щоб отримати кислоту за реакціями (4.5) та (4.6), нм³/год.:

$$o = g2 \cdot 1,5 \cdot 0,5 + g3 \cdot 0,25.$$

Для отримання 100 %-вої кислоти за реакціями (4.5) та (4.6) необхідно води, кмоль/год.:

$$F7 = \frac{N1 \cdot (u1 + u2)}{2 \cdot 22,4}.$$

Витрата води з продукційною кислотою, кмоль/год.:

$$V8 = \frac{G \cdot 63 \cdot (100 - C0)}{18 \cdot C0}.$$

В колону необхідно ввести води, кмоль/год.:

$$V9 = V8 + F7 - u7.$$

Витрата оксиду азоту (II) на виході із АК, нм³/год. та кг/год.:

$$V1B = u1 - g2;$$

$$KG1B = \frac{V1B \cdot 30}{22,4}.$$

Витрата оксиду азоту (IV) на виході із АК, нм³/год. та кг/год.:

$$V2B = u2 - g3;$$

$$KG2B = \frac{V2B \cdot 46}{22,4}.$$

Витрата кисню на виході із АК, нм³/год. та кг/год.:

$$V3B = u3 - o;$$

$$KG3B = \frac{V3B \cdot 32}{22,4}.$$

Витрата азоту на виході із АК, нм³/год. та кг/год.:

$$V5B = u5;$$

$$KG5B = \frac{V5B \cdot 28}{22,4}.$$

Витрата парів води на виході із АК, нм³/год. та кг/год.:

$$V4B = u4;$$

$$KG4B = \frac{V4B \cdot 18}{22,4}.$$

Витрата хвостових газів на виході із АК, нм³/год. та кг/год.:

$$V6B = V1B + V2B + V3B + V4B + V5B;$$

$$KG6B = KG1B + KG2B + KG3B + KG4B + KG5B.$$

Отримані результати заносимо до таблиці 4.26, таблиці 4.27 та таблиці 4.28.

Таблиця 4.26 – Склад нітрозних газів на вході під нижню тарілку АК, з урахуванням продувних газів

Компонент	Статті приходу			
	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	u_1	$\frac{u_1}{V_0} \cdot 100$	KG_1	$\frac{KG_1}{KG_6} \cdot 100$
NO ₂	u_2	$\frac{u_2}{V_0} \cdot 100$	KG_2	$\frac{KG_2}{KG_6} \cdot 100$
O ₂	u_3	$\frac{u_3}{V_0} \cdot 100$	KG_3	$\frac{KG_3}{KG_6} \cdot 100$
N ₂	u_5	$\frac{u_5}{V_0} \cdot 100$	KG_5	$\frac{KG_5}{KG_6} \cdot 100$
H ₂ O	u_4	$\frac{u_4}{V_0} \cdot 100$	KG_4	$\frac{KG_4}{KG_6} \cdot 100$
Разом	V_0	100	KG_6	100

Таблиця 4.27 – Склад хвостових газів на виході із колони

Компонент	Статті витрат			
	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NO	V_{1B}	$\frac{V_{1B}}{V_{6B}} \cdot 100$	KG_{1B}	$\frac{KG_{1B}}{KG_{6B}} \cdot 100$
NO ₂	V_{2B}	$\frac{V_{2B}}{V_{6B}} \cdot 100$	KG_{2B}	$\frac{KG_{2B}}{KG_{6B}} \cdot 100$
O ₂	V_{3B}	$\frac{V_{3B}}{V_{6B}} \cdot 100$	KG_{3B}	$\frac{KG_{3B}}{KG_{6B}} \cdot 100$
N ₂	V_{5B}	$\frac{V_{5B}}{V_{6B}} \cdot 100$	KG_{5B}	$\frac{KG_{5B}}{KG_{6B}} \cdot 100$
H ₂ O	V_{4B}	$\frac{V_{4B}}{V_{6B}} \cdot 100$	KG_{4B}	$\frac{KG_{4B}}{KG_{6B}} \cdot 100$
Разом	V_{6B}	100	KG_{6B}	100

Таблиця 4.28 – Матеріальний баланс за рідкою фазою

ПРИХІД			ВИТРАТА		
Компонент	кг/год.	%мас.	Компонент	кг/год.	%мас.
води:			вода з продукційною кислотою	V8·18	$\frac{V8 \cdot 18}{\Sigma 5} \cdot 100$
із конденсатом з ХК	<i>u7</i> ·18	$\frac{u7 \cdot 18}{\Sigma 1 + \Sigma 2} \cdot 100$			
на зрошення	V9·18	$\frac{V9 \cdot 18}{\Sigma 1 + \Sigma 2} \cdot 100$			
Всього	$\Sigma 1$	$\Sigma 3$	вода на утворення HNO ₃	F7·18	$\frac{F7 \cdot 18}{\Sigma 5} \cdot 100$
кислоти:			Разом	$\Sigma 5$	$\Sigma 6$
з конденсатом з ХК	<i>u6</i> ·63	$\frac{u6 \cdot 63}{\Sigma 1 + \Sigma 2} \cdot 100$			
утвореної в абсорбері	$\frac{g2 + g3}{22,4} \cdot 63$	$\frac{(g2 + g3) \cdot 63}{(\Sigma 1 + \Sigma 2) \cdot 22,4} \cdot 100$			
Всього	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$			
Разом	$\Sigma 1 + \Sigma 2$	$\Sigma 3 + \Sigma 4$			

Таблиця 4.29 – Склад нітрозних газів на вході під нижню тарілку АК, з урахуванням продувних газів (контрольний розрахунок)

Компонент	Статті приходу			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.
NO	220,35	0,42	295,11	0,43
NO ₂	3216,09	6,07	6604,46	9,54
O ₂	2488,66	4,70	3555,23	5,14
N ₂	46886,45	88,47	58608,06	84,68
H ₂ O	184,23	0,34	148,04	0,21
Разом	52995,78	100,00	69210,90	100,00

Таблиця 4.30 – Склад хвостових газів на виході із колони (контрольний розрахунок)

Компонент	Статті витрат			
	нм ³ /год.	%об.	кг/год	%мас.
NO	2,20	0,004	2,95	0,005
NO ₂	32,17	0,066	66,04	0,11
O ₂	1529,07	3,14	2184,38	3,58
N ₂	46886,45	96,41	58608,06	96,06
H ₂ O	184,23	0,39	148,04	0,24
Разом	48634,11	100,00	61009,48	100,00

Таблиця 4.31 – Матеріальний баланс за рідкою фазою (контрольний розрахунок)

ПРИХІД			ВИТРАТА		
Компонент	кг/год.	%мас.	Компонент	кг/год.	%мас.
води:			вода з продукційною кислотою	10862,07	39,89
із конденсатом з ХК	6592,13	24,21			
на зрошення	5636,84	20,70			
Всього	12228,97	44,91	вода на утворення HNO ₃	1366,90	5,02
кислоти:					
з конденсатом з ХК	5431,67	19,95			
утвореної в абсорбері	9568,33	35,14			
Всього	15000	55,09			
Разом	27228,97	100,00	Разом	27228,97	100,00

Розрахунок теплового балансу

Мета розрахунку теплового балансу полягає у визначенні витрати води на охолодження нижніх тарілок

Розраховуємо теплоємність газової суміші за температури ($T(1) - 273$) °C та ($T(47) - 273$) °C.

Теплоємність кислоти, концентрацією C_0 та C_{92} , кДж/(кг·град):

$$C_{pk1} = 4,1867 \cdot (1,006 - 0,0126 \cdot C_9 + 0,0001635 \cdot C_0^2 - 0,0000009024 \cdot C_0^3);$$

$$C_{pk2} = 4,1867 \cdot (1,006 - 0,0126 \cdot C_{92} + 0,0001635 \cdot C_{92}^2 - 0,0000009024 \cdot C_{92}^3)$$

Теплота, що вноситься до АК з нітрозними газами, кДж/год.:

$$Q_1 = \frac{V_0 \cdot C_{p0} \cdot (T(1) - 273)}{22,4},$$

де C_{p0} – теплоємність нітрозних газів за температури $(T(1) - 273)$ °С.

Теплота, що вносяться до АК з конденсатом із КХ, кДж/год.:

$$Q_2 = u_{02} \cdot C_{pk2} \cdot t_{92}.$$

Теплота з водою на зрошення, кДж/год.:

$$Q_3 = (V_9 - F_7) \cdot 18 \cdot 4,18 \cdot T_H.$$

Теплота реакції утворення NH_3 за реакцією (4.6), кДж/год.:

$$Q_4 = \frac{g^3}{22,4} \cdot 63970.$$

Теплота реакції утворення NH_3 за реакцією (4.5), кДж/год.:

$$Q_5 = \frac{g^2}{22,4} \cdot 120600.$$

Теплота розведення NH_3 , кДж/год.:

$$Q_6 = (31,412 + 0,0667 \cdot C_0 - 0,0038 \cdot C_0^2) \cdot 10^3 \cdot \frac{g^2 + g^3}{22,4}.$$

Прихід теплоти до абсорбційної колони, кДж/год.:

$$Q_{pr} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6.$$

Теплота хвостових газів, що виноситься із АК, кДж/год.:

$$Q_7 = \frac{V_{6B} \cdot C_p \cdot (T(47) - 273)}{22,4},$$

де C_p – теплоємність хвостових газів за температури $(T(47) - 273)$ °С.

Фізична теплота продукційної кислоти, кДж/год.:

$$Q_8 = (q_0 \cdot 1000 + V_8 \cdot 18) \cdot C_{pk1} \cdot T_3.$$

Втрати теплоти, кДж/год.:

$$Q_{10} = 0,03 \cdot Q_{pr}.$$

Теплота на нагрів води, кДж/год.:

$$Q_9 = Q_{pr} - Q_7 - Q_8 - Q_{10}.$$

Витрата теплоти, кДж/год.:

$$Q_v = Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}.$$

Витрата оборотної води на охолодження колони, т/год.:

$$VO = \frac{Q_9}{4,2 \cdot RV \cdot 1000}.$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.32

Таблиця 4.32 – Тепловий баланс абсорбційної колони

Прихід теплоти			Витрата теплоти		
Стаття	кДж/год	%	Стаття	кДж/год.	%
Фізична теплота НГ на вході в АК	Q_1	$\frac{Q_1}{Q_{pr}} \cdot 100$	Фізична теплота газу на виході з АК	Q_7	$\frac{Q_7}{Q_v} \cdot 100$
Фізична теплота конденсату з ХК	Q_2	$\frac{Q_2}{Q_{pr}} \cdot 100$	Фізична теплота кислоти	Q_8	$\frac{Q_8}{Q_v} \cdot 100$
Фіз. теплота води на зрошення	Q_3	$\frac{Q_3}{Q_{pr}} \cdot 100$	Теплота на нагрів охолоджувальної води	Q_9	$\frac{Q_9}{Q_v} \cdot 100$
Теплота за реакцією (.416)	Q_4	$\frac{Q_4}{Q_{pr}} \cdot 100$	Втрати теплоти	Q_{10}	$\frac{Q_{10}}{Q_v} \cdot 100$
Теплота за реакцією (.415)	Q_5	$\frac{Q_5}{Q_{pr}} \cdot 100$			
Теплота розбавлення кислоти	Q_6	$\frac{Q_6}{Q_{pr}} \cdot 100$			
Всього	Q_{pr}	100	Всього	Q_v	100

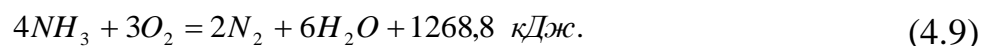
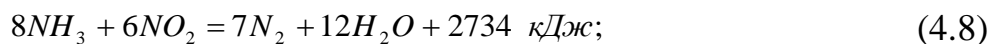
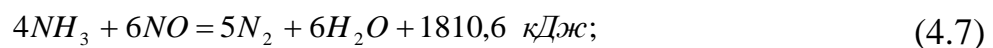
Таблиця 4.33 – Тепловий баланс абсорбційної колони (контрольний розрахунок)

Прихід теплоти			Витрата теплоти		
Стаття	кДж/год	%	Стаття	кДж/год.	%
Фізична теплота НГ на вході в АК	3628982	18,13	Фізична теплота газу на виході з АК	1933330	9,66
Фізична теплота конденсату з ХК	2079177	10,39	Фізична теплота кислоти	3171731	15,84
Фіз. теплота води на зрошення	624692	3,12	Теплота на нагрів охолоджувальної води	14311300	71,50
Теплота за реакцією (.416)	9092665	45,42	Втрати теплоти	600506	3,00
Теплота за реакцією (.415)	1174486	5,87			
Теплота розбавлення кислоти	3416865	17,07			
Всього	20016866	100,00	Всього	20016866	100,00

4.5 Алгоритм розрахунку реактора селективної очистки

Реактор селективної очистки призначений для каталітичного розкладання оксидів азоту. Корпус реактора представляє собою горизонтальну циліндричну обичайку з еліптичними днищами.

Основні реакції, що протікають в реакторі:



Вихідні дані

Склад газу на вході до реактора селективної очистки наведено в таблиці 4.34.

Таблиця 4.34 – Склад хвостових газів на вході до реактора селективної очистки

Компонент	Ідентифікатор	нм ³ /год.	Ідентифікатор	%об
NO	VNO0	29,48	CNO0	0,06
NO ₂	VNO20	6,56	CNO20	0,01
O ₂	VO20	1543,12	CO20	3,17
N ₂	VN20	46886,45	CN20	96,38
H ₂ O	VH200	184,23	CH200	0,38
Всього	Vzag0	48649,84	-	100,00

Температура хвостових газів на вході до ректора селективної очистки, °С: $t_0 = 169$.

Продуктивність агрегату за МНГ, т/год.: $Q = 15$.

Розрахунок матеріального балансу

Мета розрахунку полягає у визначенні кількості аміаку, необхідного на відновлення оксидів азоту з хвостових газів.

Припустимо, що об'ємний відсоток оксидів азоту в газі після реактору становить 0,005% об. Таким же приймаємо і об'ємний відсоток аміаку.

Витрата оксидів азоту з газом на виході із РСО, нм³/год.:

$$RNO_x = VZAG0 \cdot 0,005 / 100.$$

Масова витрата оксиду азоту (II) на вході до РСО, кг/год.:

$$mNO0 = VNO0 \cdot 30 / 22,4.$$

Масова витрата оксиду азоту (IV) на вході до РСО, кг/год.:

$$mNO0 = VNO0 \cdot 30 / 22,4.$$

Масова витрата кисню на вході до РСО, кг/год.:

$$mO20 = VO20 \cdot 32 / 22,4.$$

Масова витрата азоту на вході до РСО, кг/год.:

$$mN20 = VN20 \cdot 28 / 22,4.$$

Масова витрата парів води на вході до РСО, кг/год.:

$$mH200 = VH200 \cdot 18 / 22,4.$$

Об'ємна витрата оксидів азоту, які необхідно відновити, нм³/год.:

$$VNO_x = VNO_0 + VNO_{20} - RNO_x.$$

В тому числі оксиду азоту (II) та оксиду азоту (IV) відповідно, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V1NO = VNO_x \cdot \frac{CNO_0}{CNO_0 + CNO_{20}};$$

$$V1NO_2 = VNO_x - V1NO.$$

Витрата аміаку з газом на виході із РСО, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$V1NH_3 = VZAG_0 \cdot 0,005/100;$$

$$mNH_3 = V1NH_3 \cdot 17/22,4.$$

Об'ємна витрата аміаку за реакцією (4.7), $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V2NH_3 = V1ONO \cdot 4/6.$$

Об'ємна витрата аміаку за реакцією (4.8), $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V3NH_3 = V1NO_2 \cdot 8/6.$$

Припустимо, що на побічну реакцію взаємодії з киснем витрачається 10% аміаку, тоді об'ємна витрата аміаку за реакцією (4.9) склад, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V4NH_3 = (V2NH_3 + V3NH_3) \cdot 0,1.$$

Загальна витрата аміаку, на вході до РСО, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VNH_3 = V1NH_3 + V2NH_3 + V3NH_3 + V4NH_3;$$

$$mNH_3 = VNH_3 \cdot 17/22,4.$$

Утворюється N_2 та H_2O за реакціями (4.7) та (4.8) відповідно, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V1N_2 = V1NO \cdot 5/6 + V1NO_2 \cdot 7/6;$$

$$V1H_2O = V1NO \cdot 6/6 + V1NO_2 \cdot 12/6.$$

Витрачається кисню за реакцією (4.9), $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V1O_2 = V4NH_3 \cdot 3/4.$$

Утворюється N_2 та H_2O за реакцією (4.9) відповідно, $\text{нм}^3/\text{год.}$:

$$V2N_2 = V4NH_3 \cdot 2/4;$$

$$V2H_2O = V4NH_3 \cdot 6/4.$$

Витрата газу на вході до РСО, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$Vzag_0 = Vzag_0 + VNH_3;$$

$$mZAG0 = mNO0 + mNO20 + mO20 + mN20 + mH2O0 + mNH30.$$

Витрата оксиду азоту (II) на виході із PCO, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VNO = VNO0 - V1NO;$$

$$mNO = VNO \cdot 30 / 22,4.$$

Витрата оксиду азоту (VI) на виході із PCO, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VNO2 = VNO20 - V1NO2;$$

$$mNO2 = VNO2 \cdot 46 / 22,4.$$

Витрата кисню на виході із PCO, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VO2 = VO20 - V1O2;$$

$$mO2 = VO2 \cdot 32 / 22,4.$$

Витрата азоту на виході із PCO, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VN2 = VN20 + V1N2 + V2N2;$$

$$mN2 = VN2 \cdot 28 / 22,4.$$

Витрата парів води на виході із PCO, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$VH2O = VH2O0 + V1H2O + V2H2O;$$

$$mHO2 = VH2O \cdot 18 / 22,4.$$

Витрата очищених хвостових газів на виході із PCO, $\text{нм}^3/\text{год.}$ та $\text{кг}/\text{год.}$:

$$Vzag = VNO + VNO2 + VO2 + VN2 + VH2O + V1NH3;$$

$$mZAG = mNO + mNO2 + mO2 + mN2 + mH2O + mNH3.$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.35.

Таблиця 4.35 – Матеріальний баланс реактора селективної очистки

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NH ₃	VNH ₃	$\frac{VNH_3}{Vzag0} \cdot 100$	mNH ₃₀	$\frac{mNH30}{mZAG0} \cdot 100$	V1NH ₃	$\frac{V1NH3}{Vzag} \cdot 100$	mNH ₃	$\frac{mNH3}{mZAG} \cdot 100$
NO	VNO0	$\frac{VNO0}{Vzag0} \cdot 100$	mNO0	$\frac{mNO0}{mZAG0} \cdot 100$	VNO	$\frac{VNO}{Vzag} \cdot 100$	mNO	$\frac{mNO}{mZAG} \cdot 100$
NO ₂	VNO20	$\frac{VNO20}{Vzag0} \cdot 100$	mNO20	$\frac{mNO20}{mZAG0} \cdot 100$	VNO2	$\frac{VNO2}{Vzag} \cdot 100$	mNO2	$\frac{mNO2}{mZAG} \cdot 100$
O ₂	VO20	$\frac{VO20}{Vzag0} \cdot 100$	mO20	$\frac{mO20}{mZAG0} \cdot 100$	VO2	$\frac{VO2}{Vzag} \cdot 100$	mO2	$\frac{mO2}{mZAG} \cdot 100$
N ₂	VN20	$\frac{VN20}{Vzag0} \cdot 100$	mN20	$\frac{mN20}{mZAG0} \cdot 100$	VN2	$\frac{VN2}{Vzag} \cdot 100$	mN2	$\frac{mN2}{mZAG} \cdot 100$
H ₂ O	VH2O0	$\frac{VH2O0}{Vzag0} \cdot 100$	mH2O0	$\frac{mH2O0}{mZAG0} \cdot 100$	VH2O	$\frac{VH2O}{Vzag} \cdot 100$	mH2O	$\frac{mH2O}{mZAG} \cdot 100$
Разом	Vzag0	100	mZAG0	100	Vzag	100	mZAG	100

Таблиця 4.36 – Матеріальний баланс реактора селективної очистки (контрольний розрахунок)

Компонент	Статті приходу				Статті витрат			
	нм ³ /год	%об.	кг/год.	%мас.	нм ³ /год.	%об.	кг/год.	%мас.
NH ₃	31,56	0,065	23,95	0,04	2,43	0,005	1,85	0,003
NO	29,48	0,061	39,48	0,07	1,99	0,004	2,67	0,004
NO ₂	6,56	0,014	13,46	0,02	0,44	0,001	0,91	0,001
O ₂	1543,12	3,17	2204,46	3,61	1541,14	3,16	2201,63	3,61
N ₂	46886,45	96,31	58608,06	96,02	46917,81	96,36	58647,27	96,08
H ₂ O	184,22	0,38	148,04	0,24	227,92	0,47	183,15	0,3
Разом	48681,39	100,00	61037,45	100,00	48691,73	100,00	61037,46	100,00

Розрахунок теплового балансу

Мета розрахунку полягає у визначенні температури газової суміші на виході із реактора селективної очистки.

Розраховуємо теплоємність газової суміші за температури t_0 °С.

Питомі теплоємності реакцій ((4.7) ÷ (4.9)) відповідно, Дж/моль.:

$$Q_1 = 1810 \cdot 1000 / 6;$$

$$Q_2 = 2374 \cdot 1000 / 6;$$

$$Q_3 = 1268,8 \cdot 1000 / 3.$$

Ступені перетворення NO, NO₂ та O₂ в реакціях ((4.7) ÷ (4.9)) відповідно, частка:

$$x_{NO} = \frac{V_{NO0} - V_{NO}}{V_{NO0}};$$

$$x_{NO_2} = \frac{V_{NO_20} - V_{NO_2}}{V_{NO_20}};$$

$$x_{O_2} = \frac{V_{O_20} - V_{O_2}}{V_{O_20}}.$$

Температуру газової суміші на виході із реактора селективної очистки становить, °С:

$$t_k = t_0 + \frac{V_{NO0}}{V_{zag0}} \cdot Q_1 \cdot x_{NO} + \frac{V_{NO_20}}{V_{zag0}} \cdot Q_2 \cdot x_{NO_2} + \frac{V_{O_20}}{V_{zag0}} \cdot Q_3 \cdot x_{O_2}, = 192,65$$

де C_{p0} – теплоємність газової суміші на вході до РСО при температурі t_0 .

В даному розділі проведено матеріальні, теплові та конструктивні розрахунки основних апаратів обраної технологічної схеми (контактного апарату, окиснювача з підігрівачем повітря, холодильника–конденсатора, абсорбційної колони та реактора селективного очищення) та перевірено їх за допомогою кафедральної програми. Результати виконання перевірки розрахунків наведені в додатку А.

5 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

Розвиток комп'ютерних технологій дозволив перейти від створення креслень на папері до електронних, а застосування 3d-технологій надає можливість вдосконалити ці креслення завдяки покращенню сприйняття і розуміння об'єктів, які проектуються.

3d-моделювання дозволяє за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення розробити представлення будь-якої тривимірної поверхні об'єкта (за допомогою вбудованих математичних алгоритмів). Нині у широкому доступі наявні різноманітні засоби для 3d-моделювання, такі як Blender, 3ds Max, SketchUp Make, Sculptris, Freecad, 3dCrafter та інші. Вони дають змогу створювати 3d-моделі апаратів, які краще сприймаються студентами (у порівнянні з 2d-кресленнями), а також дають можливість виконання різноманітних варіацій розміщення даних моделей, чим полегшують завдання розробки проектів об'ємно-планувальних рішень. Для виконання вище згаданих завдань використано середовище Blender в рамках розробки 3d-моделей апаратів та схеми синтезу неконцентрованої нітратної кислоти (рисунки 5.1, 5.2).

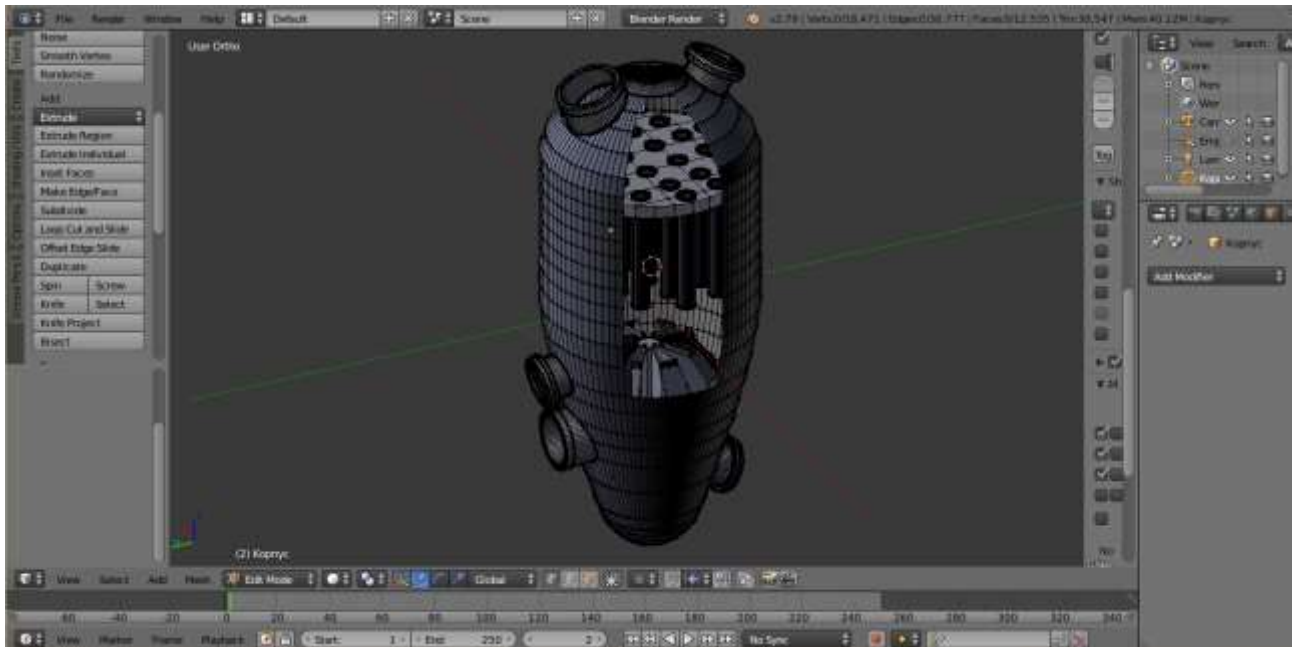


Рисунок 5.1 – 3d-модель змішувача.



Рисунок 5.2 – 3d-модель цеху виробництва неконцентрованої нітратної кислоти.

3d-моделі дозволяють відтворити реальні об'ємні об'єкти через використання набору точок в 3d-просторі програми моделювання, поєднаних між собою різноманітними геометричними об'єктами, такими як, наприклад, трикутники, лінії тощо. Розробка будь-якої 3d-моделі в середовищі Blender починається з вибору і додавання в 3d-простір примітиву, який максимально близький до об'єкту, який моделюється [7] (рисунок 5.3).

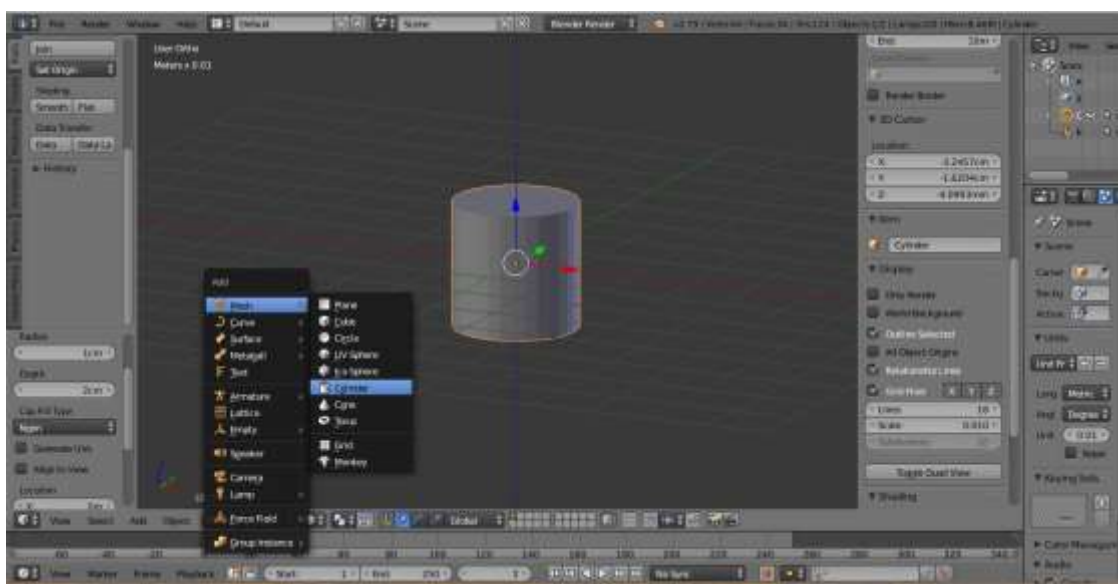


Рисунок 5.3 – Зразок примітиву, що може використовуватись в процесі моделювання.

Примітив являє собою просту геометричну фігуру, наприклад, куля, циліндр, конус чи інші з набору доступних у програмі, які використовуватимуться в процесі розробки як «цеглинки» для побудови складніших об'єктів.

Подальший процес моделювання об'єктів полягає у застосуванні різних операцій (переміщення, деформації, обертання, екструдювання, згладження та текстурування) в режимі редагування об'єкту-примітиву [8]. При чому дані операції можуть бути застосовані як до цілого примітиву, так і до окремих його точок, граней чи площин (рисунок 5.4).

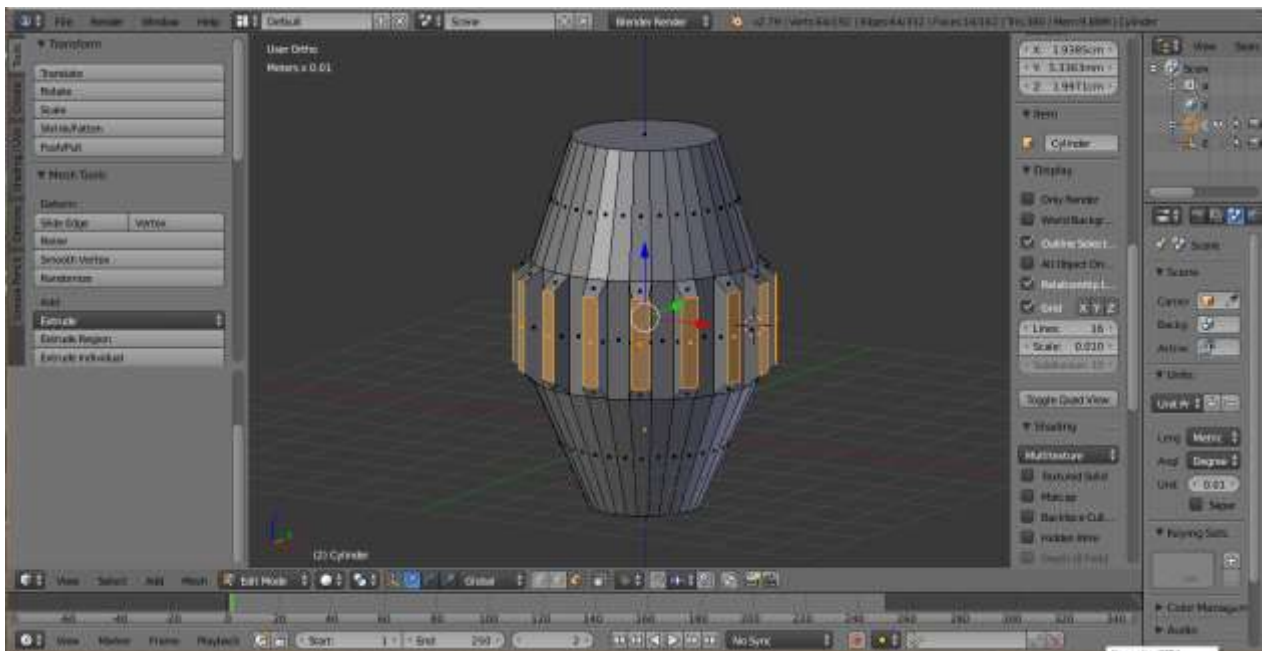


Рисунок 5.4 – Зразок примітиву, після здійснення операцій моделювання.

Слід також зазначити, що в середовищі Blender можливе використання зображень плоских креслень, в якості фону, що суттєво полегшує та прискорює процес моделювання більш складних об'єктів, або їх груп, таких як, наприклад, хімічні цехи (рисунок 5.5, 5.6). Моделювання окремих апаратів також може виконуватися із застосуванням фону з 2d-кресленням, при чому програма Blender підтримує можливість застосування різних зображень планів та розрізів на різних видах об'єкту.

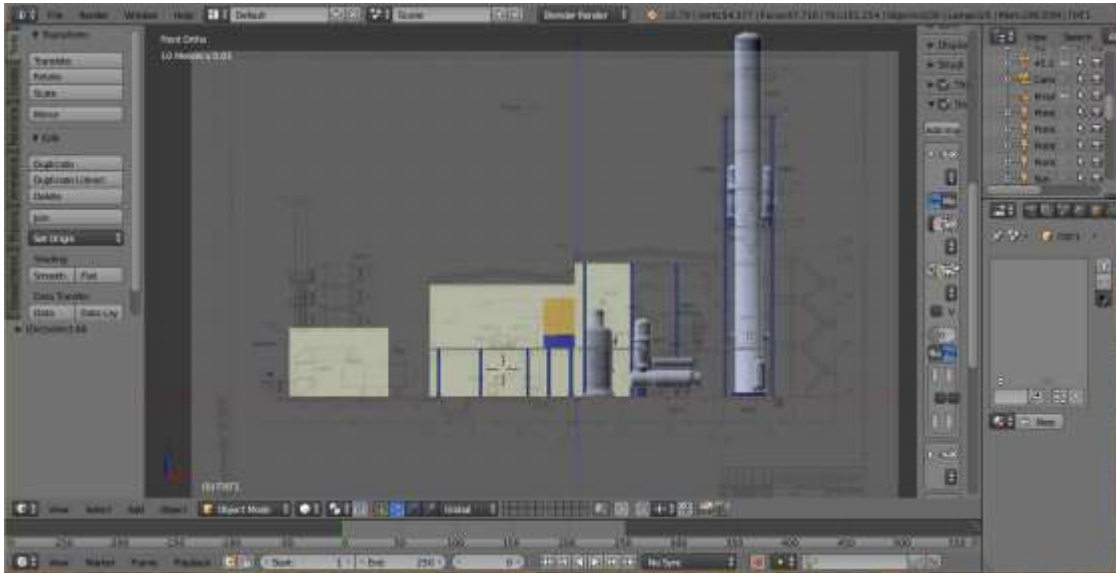


Рисунок 5.5 – Використання фонового зображення (поперечний розріз) на фронтальному вигляді.

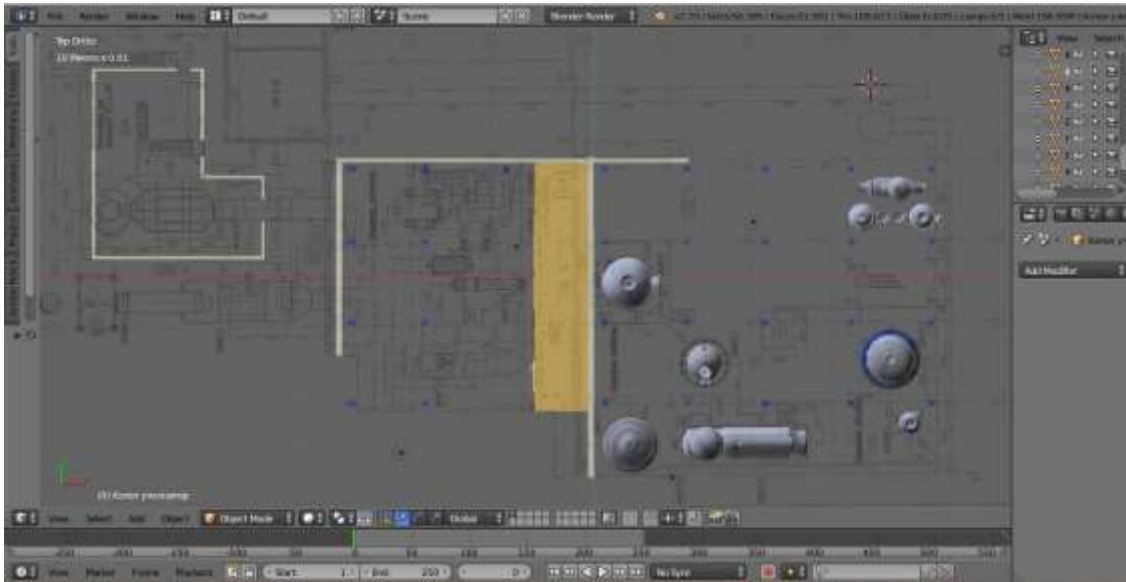


Рисунок 5.6 – Використання фонового зображення (плану на відмітці 0,0 та 6,0) на вигляді зверху.

Переміщення між видами на об'єкт здійснюється за допомогою руху (при натисненні на ліву кнопку) маніпулятора миші, а також можливий перехід на вид зверху (цифра 7 на цифровій клавіатурі), фронтальний (цифра 1 на цифровій клавіатурі), вид зверху (цифра 9 на цифровій клавіатурі) і знизу (цифра 3 на цифровій клавіатурі), а також переключення між ортогональним і перспективним способами відображення зображеного (цифра 5 на цифровій клавіатурі).

2. Додати примітив UV-сферу і надати їй форму змішувача.

За допомогою комбінації клавіш Shift+A додати примітив «UV Sphere». Перейти в режим редагування об'єктів натисканням кнопки «Tab» на клавіатурі. Перетягуючи за стрілки осей проектування (які з'явилися відразу після переходу в режим редагування) виставити сферу в межах контуру змішувача на фоновому зображенні (як на рисунку 5.9). При необхідності сферу можна збільшити чи зменшити. Для цього необхідно натиснути клавішу «S» та, переміщуючи маніпулятор мишу, вибрати необхідний розмір.

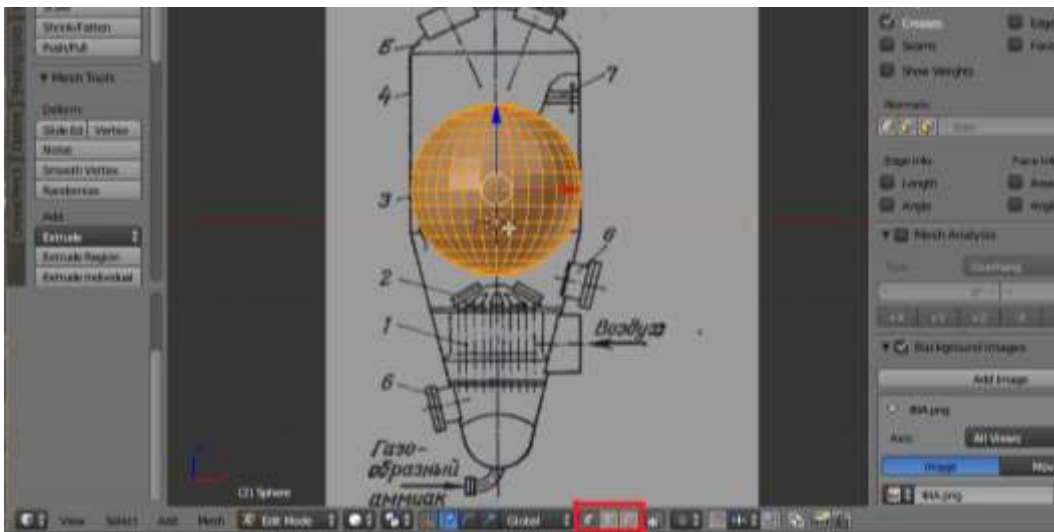


Рисунок 5.9 – Переміщення UV-сфери.

Далі необхідно перейти в режим редагування точок (на рисунку 5.9 виділено кнопки переходу між режимами редагування точок, граней і площин об'єкту) та перейти в режим відображення об'єкту у вигляді сітки (клавіша «Z»).

Клавішею «A» зняти активне в даний момент виділення з об'єкту і виділити ті точки сфери, які необхідно редагувати (натиснути клавішу «B» і виділити необхідну прямокутну область). Після чого перетягуючи за стрілки осей проектування перемістити виділену область. Описані в даному абзаці операції повторити таку кількість разів, щоб сфера набула форми змішувача (як зображено на рисунку 5.10).

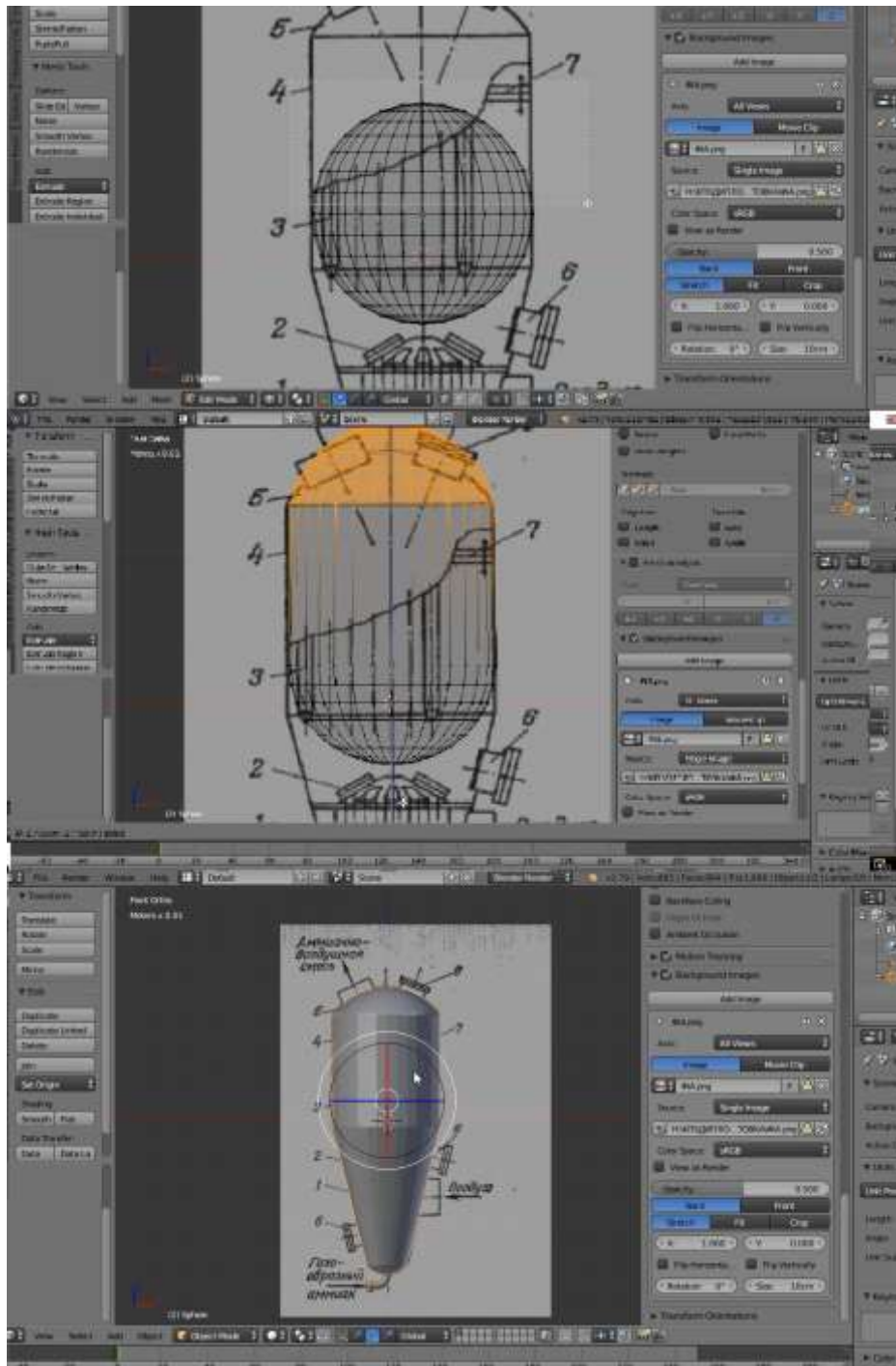


Рисунок 5.10 – Надання UV-сфері форми змішувача.

3. Додати примітив циліндр і надати йому форму патрубків.

Повернутися в режим «твердого тіла» (клавіша «Z») та об'єктний режим (кнопка «Tab» на клавіатурі). За допомогою комбінації клавіш «Shift+A» додати примітив «UV Sphere» та, застосовуючи операції переміщення і деформації (як описано в попередньому пункті), в режимі редагування об'єктів (кнопка «Tab» на клавіатурі) надати необхідну форму (патрубок) і положення (відносно сфери – корпусу змішувача) циліндру.

Після цього знову повернутися в режим редагування точок (як показано на рисунку 5.9) та перейти в режим відображення об'єкту у вигляді сітки (клавіша «Z»). Результат показано на рисунку 5.11.

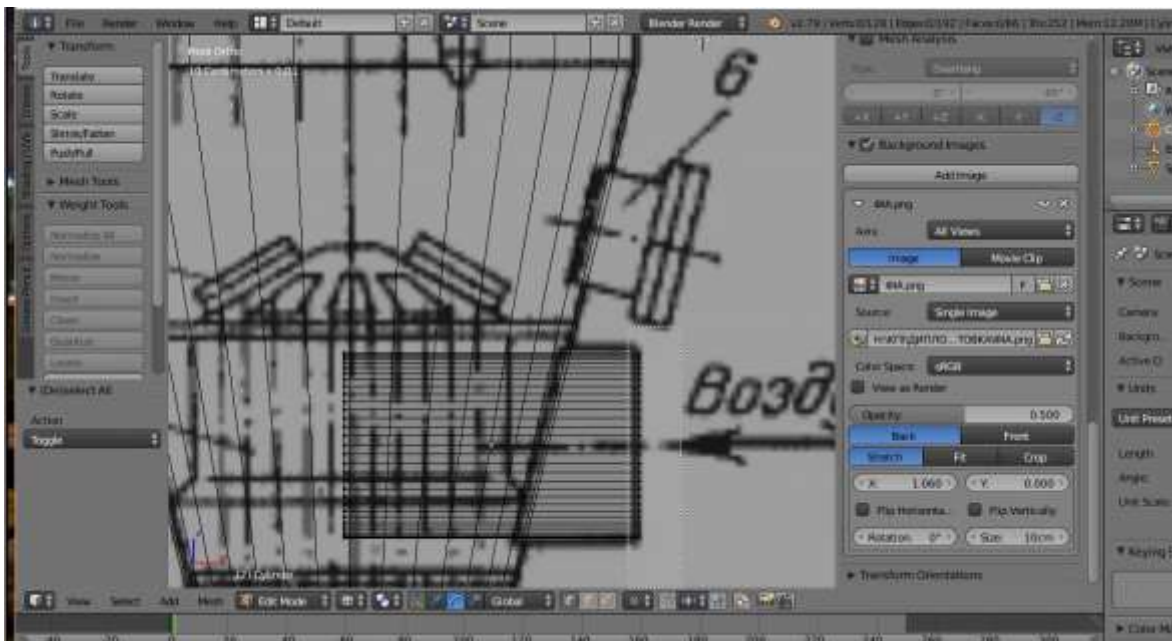


Рисунок 5.11 – Режим відображення циліндра у вигляді сітки

4. Додати наскрізний отвір у циліндрі.

Для цього необхідно виділити усі точки того з країв циліндра, який буде з'єднуватись з трубопроводом у майбутньому (зовнішньої його сторони) та додати площину, яка охоплюватиме усі вибрані точки (клавіша «I» та вибір діаметру площини, що утвориться, за допомогою переміщення маніпулятора миші), при чому обраний діаметр утвореної площини визначатиме товщину стінок патрубку, який моделюється. Після цього необхідно перейти в режим редагування площин (як показано на рисунку 5.9) і виділити утворену площину, натиснувши на ній праву кнопку маніпулятора миші. Далі проводимо операцію екструдкування (видавлювання) виділеної площини по осі z (клавіша «E», потім клавіша «Z» - для вибору осі по якій здійснюватиметься екструдкування, і переміщення маніпулятора миші для вибору відстані на яку екструдуватиметься площина) до протилежного краю циліндра (внутрішньої його сторони). Результати проведення операцій додавання площини і її екструдкування показано на рисунку 5.12.

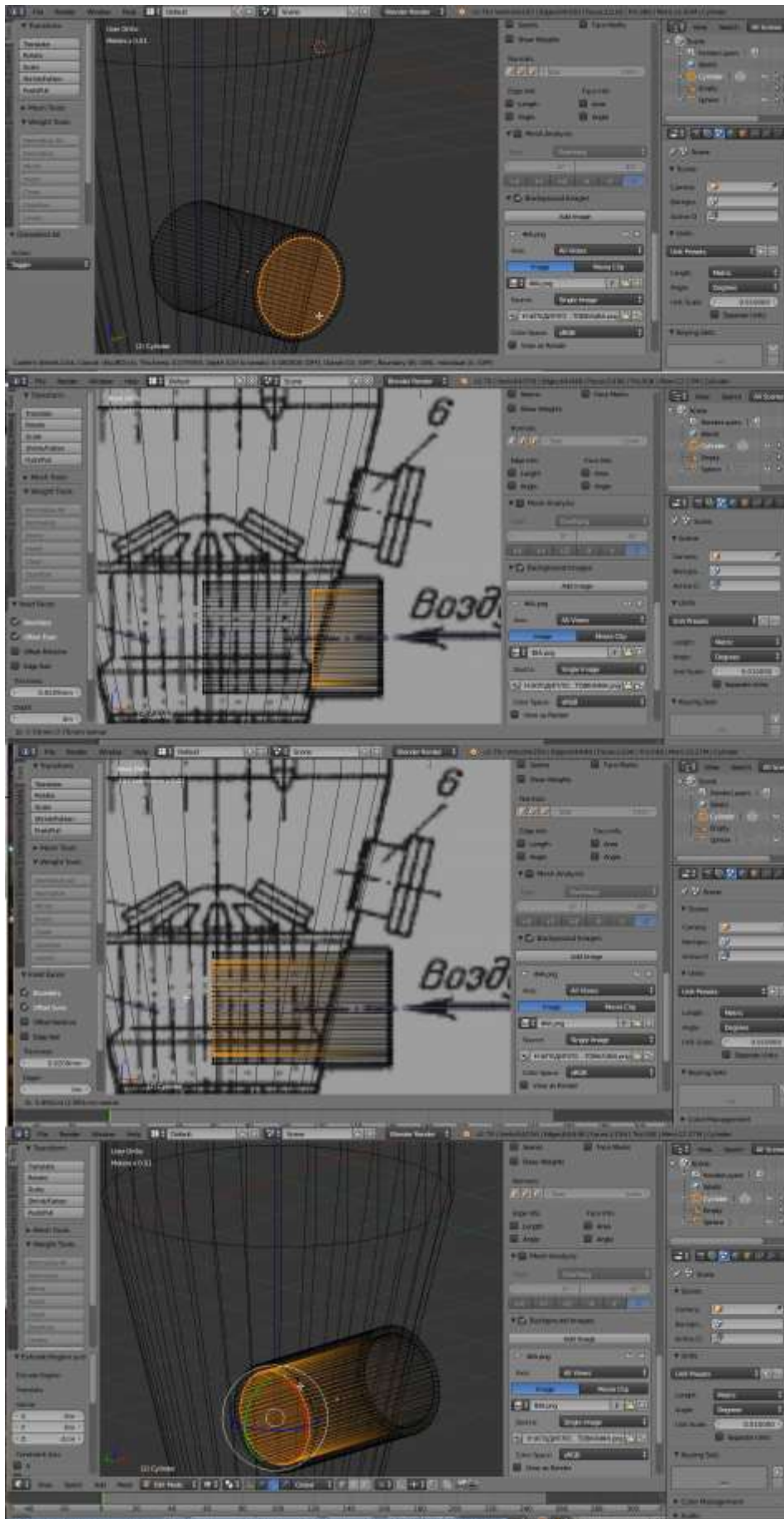


Рисунок 5.12 – Моделювання наскрізного отвору в циліндрі (патрубку).

Оскільки положення циліндра вже виставлено правильно, то тимчасово можемо приховати сферу з зони видимості, натиснувши на кнопку з зображенням ока на панелі дерева об'єктів Blender-проекту (в правій верхній частині вікна середовища Blender) навпроти об'єкту «Sphere».

Після цього повертаємось в режим редагування точок і виділяємо усі точки внутрішньої сторони циліндра (не включаючи тих точок, які були утворені внаслідок екструджування) та з'єднуємо їх площиною (клавіша «F»), в яку потім додаємо ще одну внутрішню площину (клавіша «I» та вибір діаметру цієї площини за допомогою переміщення маніпулятора миші), при чому обраний діаметр повинен бути рівним тому, який було обрано для зовнішньої сторони циліндра. Діаметр обрано правильно, якщо точки, які утворені внаслідок екструджування співпадають з точками утвореної внутрішньої площини (як на рисунку 5.13).

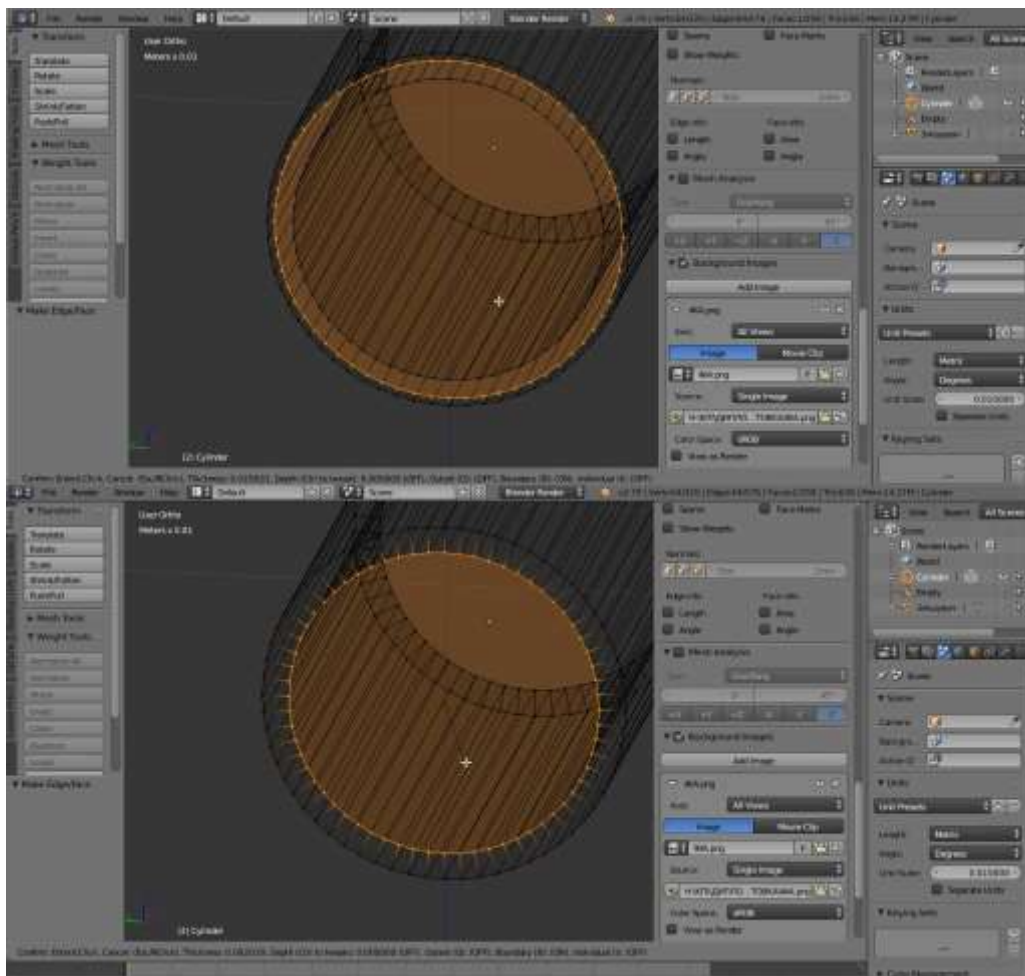


Рисунок 5.13 – Додавання внутрішньої площини.

Далі повертаємось в режим «твердого тіла» (клавiша «Z») та обираємо режим редагування площин. Виділеною залишається утворена перед цим площина. Натискаємо клавiшу «X» та обираємо пункт «Faces». В результаті чого буде видалено утворену внутрішню площину, що видно на рисунку 5.14 та циліндр матиме наскрізний отвір.

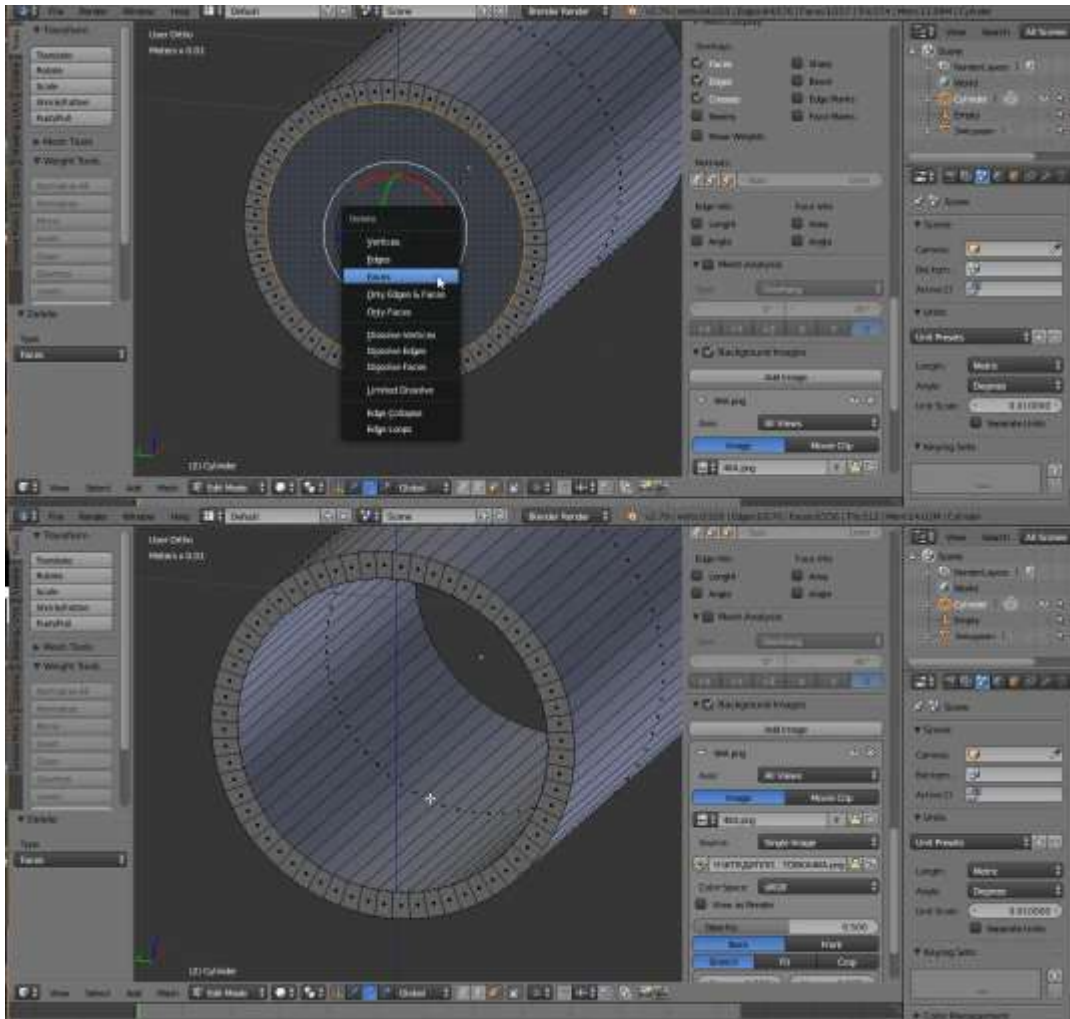


Рисунок 5.14 – Операція видалення площини.

5. Переріз сфери (корпусу) циліндром (патрубком) з утворенням наскрізного отвору.

Повертаємо сферу в зону видимості, натиснувши на кнопку з зображенням ока на панелі дерева об'єктів Blender-проекту (в правій верхній частині вікна середовища Blender) навпроти об'єкту «Sphere».

Далі повертаємось в об'єктний режим (кнопка «Tab» на клавіатурі) та виділяємо (натиснувши праву кнопку маніпулятора миші на об'єкті) сферу. Після цього на правій панелі під деревом об'єктів Blender-проекту на вкладці

«Modifiers» обираємо модифікатор «Boolean» для застосування до об'єкту сфери булевих математичних функцій (рисунок 5.15).

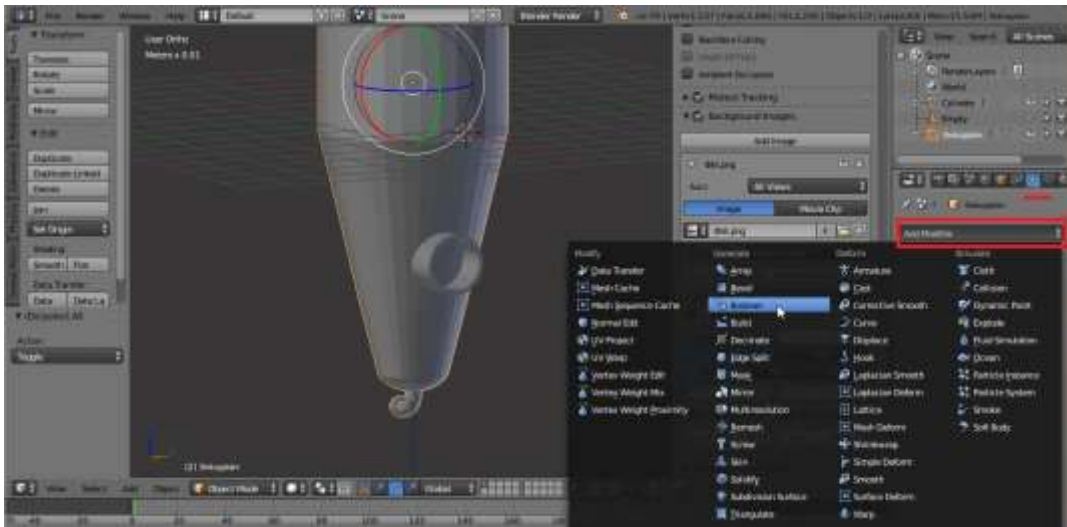


Рисунок 5.15 – Модифікатор «Boolean».

А саме функція «Difference» дозволяє відсікти від об'єкту сфери ті ділянки, які перетинаються з об'єктом циліндр. Якщо вимкнути видимість циліндра, то буде добре видно результат застосування функції «Difference» (рисунок 5.16).

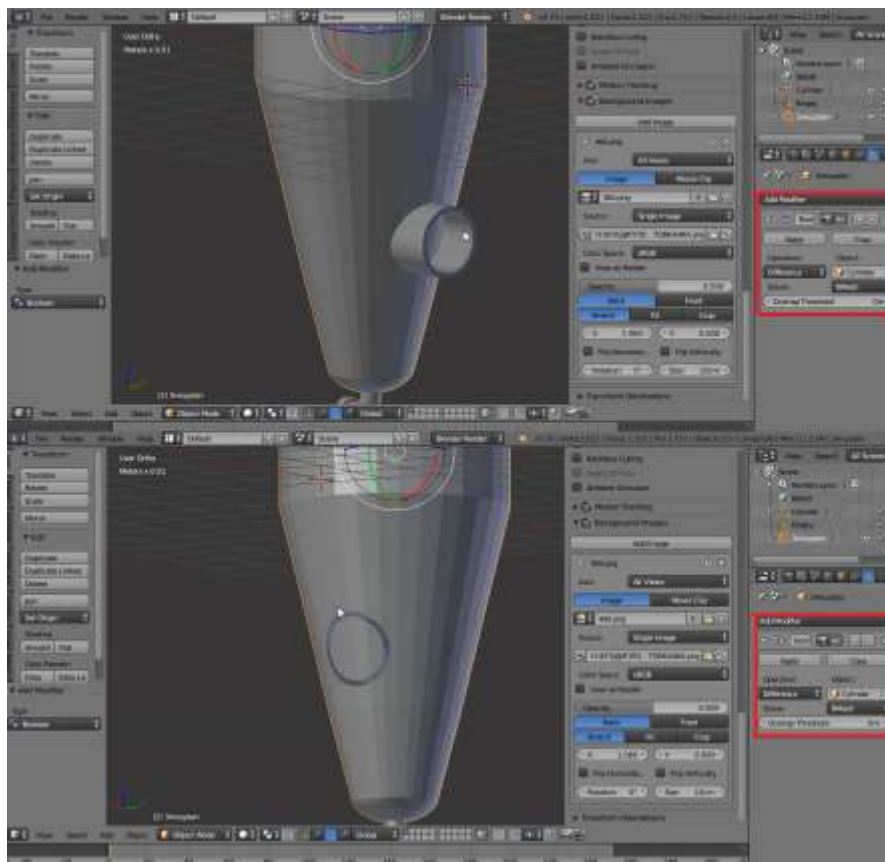


Рисунок 5.16 – Результат застосування функції «Difference» модифікатора «Boolean».

Після цього необхідно повернутися в режим редагування об'єктів і в режимі редагування площин виділити (утримуючи клавішу «Shift» по чергово натискати праву кнопку маніпулятора миші) усі площини, які знаходяться в середині циліндра (перекривають видимість внутрішньої частини корпусу, якщо дивитись ззовні крізь патрубок) та видалити їх за допомогою клавіші «X» та пункту «Faces» у випадному меню (рисунок 5.17).

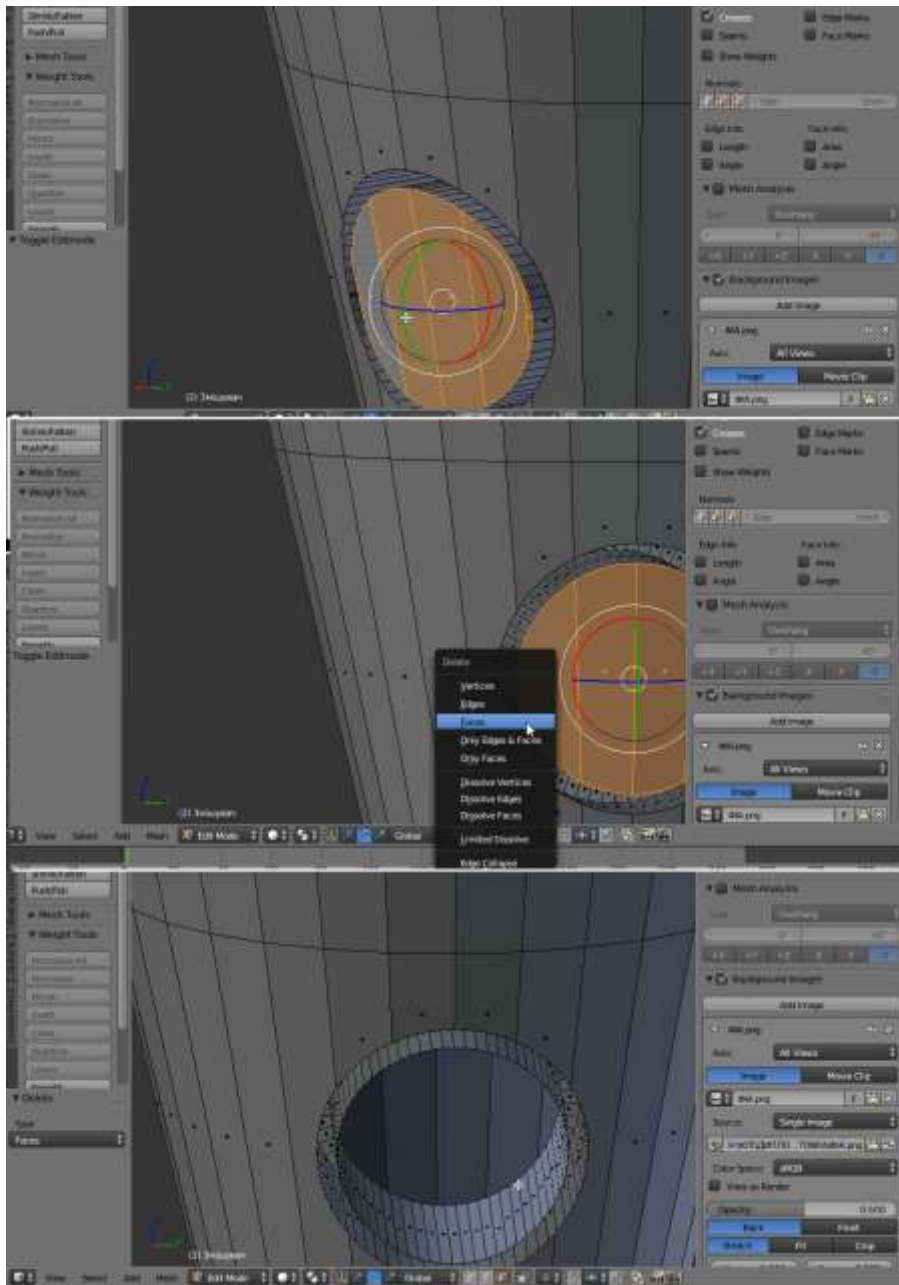


Рисунок 5.17 – Моделювання наскрізного отвору в змішувачі.

Після цього вмикаємо видимість циліндра і залишається лише з'єднати сферу і циліндр в один об'єкт, аби в подальшому більш зручно їх переміщувати, деформувати та обертати.

Проте, якщо повернутись на фронтальний вид, на фоновому кресленні видно, що таких патрубків у змішувачі декілька. Тому, щоб не створювати решту патрубків знову від самого початку, застосуємо функцію дублювання.

6. Дублювання об'єктів (патрубків на корпусі змішувача).

Для того щоб продублювати той, чи інший об'єкт, необхідно виділити його в об'єктному режимі, натиснути комбінацію клавіш «Shift+D» та перемісти дублікат об'єкта в потрібне місце (слідкуючи при цьому, за його положенням відносно усіх осей координат).

Після цього дубльований об'єкт стає самостійним об'єктом (і відображається в дереві об'єктів Blender-проекту) та може піддаватись усім операціям, функціям і модифікаторам, які описувалися раніше та іншим (з переліку доступних в середовищі Blender), що не використовувалися при моделюванні змішувача.

7. Об'єднання об'єктів (з'єднання усіх патрубків із корпусом)

Для того щоб об'єднати декілька об'єктів в один необхідно всі ці об'єкти виділити (як описувалося вище) та натиснути комбінацію клавіш «Ctrl+J». Після виконання цієї операції редагування елементів об'єкту, які були перед об'єднанням різними об'єктами, ускладниться. Тому рекомендується з'єднувати всі частини складного об'єкта після застосування до них усіх необхідних операцій (на рисунку 5.18 послідовність операцій виділення і об'єднання видно по різним кольорам контурів об'єктів).

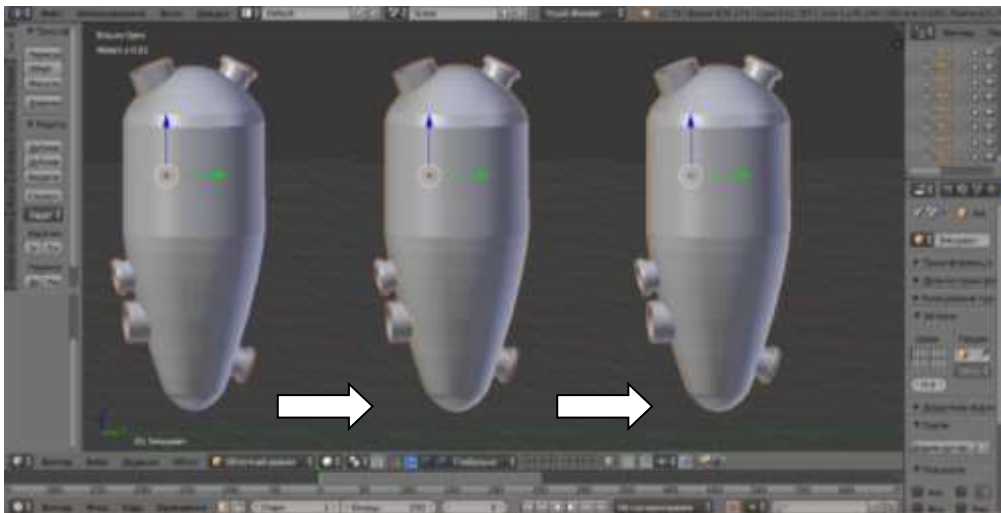


Рисунок 5.18 – Об'єднання декількох об'єктів в один.

8. Моделювання інших складових змішувача

Усі інші елементи змішувача (люки, трубку дошку, завихрювач та фільтруючі елементи) моделюють за допомогою операцій, функцій і модифікаторів описаних в попередніх пунктах методики.

Після того, як усі необхідні об'єкти створено, їх необхідно правильно розмістити (перетягуючи за стрілки осей проектування, які з'являються відразу після переходу в режим редагування) відносно вже створеного корпусу, оскільки після об'єднання всіх елементів в один, подальше їх переміщення буде складнішим. За необхідності для кожного із об'єктів можна змінити масштаб (натиснути клавішу «S» та, переміщуючи маніпулятор мишу, вибрати необхідний розмір). Для полегшення процесу переміщення об'єктів один відносно одного рекомендується використовувати переходи між видами (клавіша «1» - фронтальний вид, «7» - вид зверху, «9» - вид збоку та «3» - протилежна сторона обраного вид, на цифровій клавіатурі) та між режимами відображення об'єктів (як «тверде тіло» та у вигляді сітки, за допомогою клавіші «Z»).

Після завершення позиціювання, об'єднуємо всі елементи в один (попередньо виділивши їх в об'єктному режимі як описано вище) за допомогою комбінації клавіш «Ctrl+J». Результат операції об'єднання видно на рисунку 5.19.

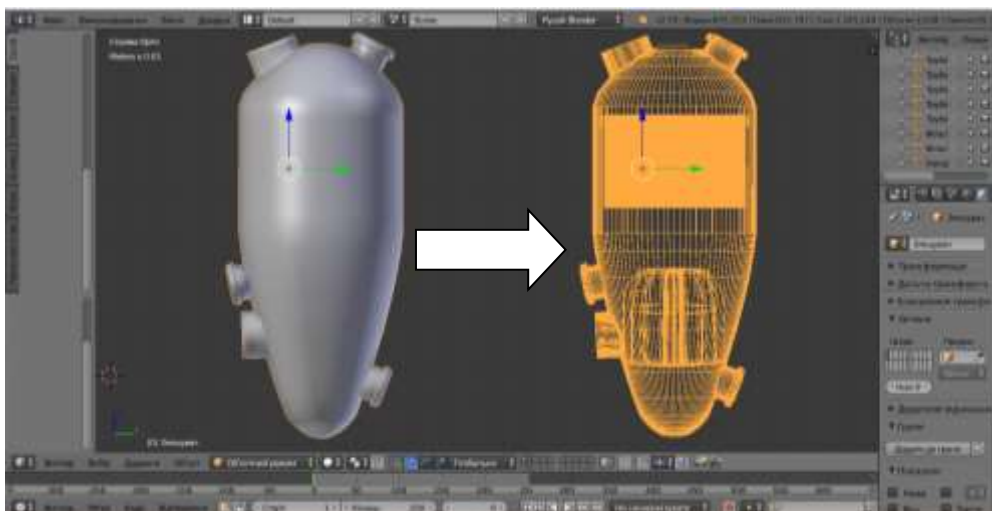


Рисунок 5.19 – Результат об'єднання усіх складових елементів змішувача.

Готовий змішувач потрібно зберегти (натиснути комбінацію клавіш «Ctrl+S», після чого вибрати місце для зберігання файлу та задати назву) для подальшого його використання в інших проектах.

Процес розробки 3d-моделі цеху виробництва неконцентрованої нітратної кислоти здійснювався також шляхом поступового постадійного додавання усіх необхідних елементів (підлоги, стін, опор, апаратів та їх підпор, трубопроводів, кранів, балкових підпор для даху, даху приміщення, сходові, огорож та написів). На рисунку 5.20 зображено історію знімків екранів на усіх стадіях процесу створення елементів проекту 3d-моделі цеху виробництва неконцентрованої нітратної кислоти.



Рисунок 5.20 – Стадії процесу створення усіх елементів проекту.

Для розробки 3d-моделі цеху виробництва неконцентрованої нітратної кислоти було обрано середовище Blender, оскільки воно є безкоштовним, є дуже популярним серед інтернет-користувачів, а тому для його вивчення створено безліч безкоштовних інтернет-курсів та відео уроків [9, 10], а також дане середовище має велику кількість додаткових функцій, які постійно вдосконалюються, таких як, наприклад, створення анімації (що може бути використано для візуалізації технологічних потоків та процесів в хімічних апаратах) та програмування на вбудованій мові Python (що може бути використано для створення електронних тренажерів-симуляторів для вивчення хіміко-технологічних процесів) [11]. Використаний підхід розвиватиме просторове уявлення студентів при проектуванні складних хіміко-технологічних схем і сприятиме більш глибокому вивченню хімічних технологій неорганічних речовин та процесів водоочищення.

6 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ ЧЕРЕЗ СТАРТАП

3d-моделювання хіміко-технологічного обладнання – це новий крок у сприйнятті і розумінні процесів, що відбуваються в хімічній технології. Воно дає змогу створювати спеціалізовані програми з 3d-моделями технологічного обладнання, котре в такій формі краще візуалізується, а тому й краще сприймається, а, отже, може бути використаним при виконанні різноманітних варіацій розміщення даних моделей, чим полегшує завдання розробки проектів об'ємно-планувальних рішень.

Створення подібних програм є актуальним в умовах інформаційного суспільства. Запропонована у роботі розробка міститиме бібліотеку основного і допоміжного хіміко-технологічного обладнання, а також дозволить компонувати це обладнання в довільному порядку, моделюючи при цьому процеси, які там відбуваються. Користувач зможе моделювати як невеликі цехи, так і великі виробництва завдяки даній програмі.

Метою стартапу є задоволення потреб клієнтів (хімічних підприємств, навчальних закладів хімічного профілю та проектних організацій) у можливості в автономному режимі здійснювати підбір необхідного технологічного обладнання для певного хімічного виробництва та створювати зручну і наглядну модель цього виробництва за допомогою комп'ютерної програми.

За результатами розрахунків техніко-економічні показники стартапу мають такий вигляд:

Річна собівартість продукції (для створення власне самої програми та запис її копій на 400 дисках):

$$C = 53\,354\$/\text{рік}$$

Собівартість одного диску складає:

$$C = 133,39 \text{ \$/од.}$$

Очікуваний прибуток з одного проданого диску з програмою:

$$П = 116,61 \text{ \$/од.}$$

Ціна на диск з програмою:

$$Ц = 250 \text{ \$/од.}$$

Річний прибуток від реалізації усіх 400 дисків:

$$П = 46\,646\$/\text{рік}$$

Капіталовкладення для реалізації стартапу:

$$К = 53\,254\$\text{}$$

Рентабельність проекту:

$$Р = 87,43 \%$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$Е = 0,876$$

Термін повернення капіталовкладень:

$$Т = 1,14 \text{ року}$$

Оскільки проект має досить високу рентабельність (87,43%), а термін повернення капіталовкладень складає 1,14 року, то даний проект можна вважати вартим уваги інвесторів. Єдиним недоліком є необхідність постійного розвитку проекту в подальшому, оскільки сфера програмного забезпечення постійно розвивається і продукт без подальшого супроводу і підтримки може застаріти. Проте з командою кваліфікованих спеціалістів (програмістів-розробників і дизайнерів з обов'язковою ІТ-освітою, яких передбачено залучити для реалізації даного проекту), за наявності фінансування проекту, можлива не тільки його реалізація, а й подальша повноцінна підтримка та розвиток проекту в онлайн-платформу чи навіть хмарний-сервіс для реалізації роботи програми на тих комп'ютерах, параметри яких не здатні повноцінно відтворювати весь функціонал програми «3D-MISE». Це дозволить розширити базу споживачів і, як наслідок, ринок реалізації продукту в цілому.

6.1 Загальна характеристика розробки

Загальні особливості розробки, а також об'єкт та суб'єкт конкретного замовлення на даний проект та власне самого дослідження представлено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Загальна характеристика розробки

Параметр	Опис
Тема	Проектування
Назва	3D-MICE (3D-Modeling in Chemical Equipment / 3D-Моделювання хімічного обладнання)
Суб'єкт замовлення	Лабораторія неорганічного синтезу КПІ
Потенційні споживачі	Навчальні заклади хіміко-технологічного профілю, проектні організації, приватні підприємці хімічної галузі
Об'єкт замовлення	Комп'ютерна програма
Об'єкт дослідження	3D-Моделювання хімічного обладнання
Місце в ланцюжку цінності	Стадія розробки
Плановий обсяг продажу	400 дисків/рік

Продуктом стартапу є ліцензована комп'ютерна програма для 3D-моделювання хімічного обладнання, яка буде працювати на операційних системах Windows та Mac OS. Для реалізації даного проекту необхідний такий персонал: 2 ІТ – дизайнери (обов'язкова ІТ – освіта), 2 програмісти (обов'язкова ІТ – освіта), 2 тестувальники програми (ІТ – освіта необов'язкова), маркетолог (обов'язкова вища освіта), бухгалтер (обов'язкова економічна освіта).

Споживачами даного продукту на стадії розробки україномовної версії програми є підприємства хімічної промисловості (60% від очікуваного ринку збуту), навчальні заклади хіміко-технологічного профілю (30% від очікуваного ринку збуту) та проектні організації України (10% від очікуваного ринку збуту). При подальшому розвитку проекту можлива адаптація і продаж програми користувачам з інших країн.

Ринком збуту являється ринок програмного забезпечення України, який функціонує через різноманітні сайти (наприклад, «tehnoprostir.com.ua» чи «soft.rozetka.com.ua»), форуми (наприклад, «it-forum.com.ua» чи «idea.turion.info»)

і виставки новаторського програмного забезпечення (наприклад, «Digital Evolution Forum» та «IT-Idea Forum»).

Конкурентними перевагами даного продукту є: легкість використання, велика (100 зразків) бібліотека обладнання, що використовується в хімічній технології, розподіл обладнання за категоріями (галузями хімічної промисловості) і як наслідок – зручність підбору необхідного, велика кількість варіантів позиціювання обраних моделей (від 10 до 30 варіантів, залежно від кількості апаратів, обраних для виконання задачі підбору позиціювання) і функція автоматичного з'єднання апаратів трубопроводами при заданні користувачем порядку апаратів в схемі, сучасний дизайн (за прикладом програм створених станом на 2018 рік), який робить інтерфейс зручним для користувачів.

6.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу

Зовнішнє середовище – оточення, в якому діє організація, і складається головним чином з учасників ринкових відносин. Від їх поведінки, цільових установок та інтересів більшою чи меншою мірою залежать добробут і ефективність бізнесу. Аналіз зовнішнього середовища дозволяє визначити і зрозуміти можливості і загрози, які можуть з'явитися на будь-якому етапі розвитку бізнесу, а також розробити стратегічні альтернативи. По мірі посилення інтенсивності змін зовнішнього середовища такий аналіз стає життєво важливим для бізнесу фактором.

Таблиця 6.2 - Загрози та можливості зовнішнього середовища стартапу

Фактори зовніш. середовища		Загрози	Імовірність	Можливості	Імовірність
Економіка	Збільшення оподаткування населення	- Зниження рівня платоспроможності населення і як наслідок зменшення попиту - Зменшення чистого прибутку через збільшення собівартості проекту (до 15%)	0,9 0,9	- Зростання попиту за рахунок зростання доходів у державних споживачів продукту, які зможуть дозволити собі покупку товару	0,9

Продовження таблиці 6.2

	Скорочення доходів споживачів	- Зниження купівельної спроможності споживачів, зменшення попиту - Неможливість покупки товару представниками нижчого класу - Зменшення чистого прибутку через необхідність закладання додаткової вартості в собівартість проекту (до 15 %)	0,9 0,3	- Проведення маркетингових досліджень та рекламних заходів - Відкритість світового ринку - Розробка більш доступних по ціні версій програми	0,9 0,6 0,5
	Збільшення інфляції	- Зменшення попиту споживачів і як наслідок необхідність закладання додаткової вартості в собівартість проекту (до 10%)	0,8	- Додаткові надходження за умови використання як рекламної платформи	0,8
Політика	Нестабільність фінансово-кредитної політики України	- Невигідні умови кредитування не дозволяють брати кредити на розширення проекту - Зміна курсу валюти впливає на собівартість	0,4 0,5	- Розробка більш доступних по собівартості версій програми - Оплата праці ІТ дизайнерам та програмістам в національній валюті	0,5 0,4
	Отримання безвізового режиму	- Поява на вітчизняному ринку конкурентів з інших країн і як наслідок необхідність закладання додаткової вартості в собівартість проекту (до 10%)	0,8	- Реалізація товару на світовому ринку (зростання прибутку за рахунок розширення ринку) - Гнучкість продукту (можливість вдосконалення функціоналу програми і адаптація під світовий ринок)	0,9 0,7

Продовження таблиці 6.2

Політика	Війна на сході країни	- Складність продажу товару на даній території	0,7	- Розробка більш доступних по ціні версій програми - Необхідність пошуку нових територій для продажу	0,5 0,5
	Нестабільна політична ситуація в країні	- Зменшення кількості споживачів через закриття хімічних виробництв	0,4	- Адаптація функціоналу програми під програму для навчання і як наслідок розширення ринку збуту	0,4
Науково-технічний прогрес	Впровадження нових технологій	- Поява конкурентних програм з меншою собівартістю створення і як наслідок необхідність закладання додаткової вартості в собівартість проекту (до 10%) - Необхідність освоєння нових технологій - Залежність від рівня апаратного забезпечення комп'ютерів користувачів	0,5	- Використання нових технологій для здешевлення власного продукту - Не велика кількість персоналу потребуватиме перекваліфікації - Перехід на нові, більш комфортні технології обробки і візуалізації даних	0,7 0,4
			0,7	- Вдосконалення функціоналу програми за вимогами НТП	0,6
			0,8		0,7
Демографія	Кількість потенційних споживачів	- Нестабільна ситуація в країні, як наслідок зміна кількості споживачів - Зменшення кількості клієнтів, через активну еміграцію населення	0,3	Збільшення кількості клієнтів, внаслідок міграції в країну і як наслідок збільшення попиту на продукт	0,4
			0,4		
Географія	Анексія Криму	- Втрата споживачів з даного регіону	0,5	- Розробка більш доступних по ціні версій програми, корегування функціоналу програми	0,5

Продовження таблиці 6.2

Географія	Зміна території країни	- Необхідність пошуку нових споживачів (збільшення собівартості на 10%)	0,6	- Покращення функціоналу програми для забезпечення потреб нових споживачів	0,6
Культура	Рівень освіченості людей	- Низька мотивація споживачів використовувати спеціалізовані програми для проектування виробництв	0,3	- Велика кількість споживачів, що прагнуть підвищити власне розуміння хіміко-технологічних процесів і знання про роботу обладнання за рахунок використання продукту	0,4
	Пропаганда розвитку хімічної промисловості	- Небажання людей вивчати щось нове	0,4	- Активна підтримка споживачами ідеї більше розвивати вітчизняне виробництво і як наслідок збільшення кількості споживачів	0,6

Внутрішнє середовище підприємства визначає технічні та організаційні умови роботи підприємства та є результатом управлінських рішень. Ціллю аналізу внутрішнього середовища підприємства служить виявлення слабких та сильних сторін його діяльності, так як, щоб скористатися зовнішніми можливостями, підприємство має мати певний внутрішній потенціал. Одночасно потрібно знати і слабкі місця, які можуть посилити зовнішню небезпеку.

Інформація про внутрішнє середовище необхідна для того, щоб визначити внутрішні можливості та потенціал, на які підприємство може розраховувати в конкурентній боротьбі для досягнення поставлених цілей.

Таблиця 6.3 - Загрози та можливості внутрішнього середовища стартапу

Фактори внутрішн. середовища	Недоліки	Імовірність	Переваги	Імовірність
Посередники	- Збільшення собівартості товару за рахунок співпраці з фірмами посередниками (збільшення собівартості до 20%)	0,7	- Обслуговування додаткових груп споживачів - Забезпечення постійної якості роботи - Покращення рейтингів програми, яке впливає на вибір клієнтів, що обирають товар	0,7 0,9 0,6
Конкуренти	- Вихід на ринок нових конкурентів з нижчою ціною і/або кращим функціоналом призведе до зниження попиту на програму «3D-MICE» - Розвиток наявних на ринку конкурентів (зниження ціни і/або покращення функціоналу) призведе до зниження попиту на програму «3D-MICE» - Наслідком цих недоліків є необхідність закладання в собівартість додаткової (до 15%) вартості	0,9 0,8 0,6	- Підвищення якості продукту, пропозиція нових функціональних рішень програми, створення спеціалізованих виробництво доповнень - Вихід на нові ринки - Покращення функціоналу програми	0,9 0,7 0,8
Споживачі	- Зміни в потребах і смаках споживачів і, як наслідок, необхідність частого проведення повторних маркетингових досліджень - Негативні демографічні зміни - Соціально-політична нестабільність		- Розширення функціоналу програми для задоволення якомога більшої кількості потреб споживачів - Можливість вибору кожним конкретним споживачем необхідного саме для нього функціоналу	0,9

6.3 Ключові фактори успіху проекту методом Шонфільда

Оцінка конкурентоспроможності продукту проводилась за методом Шонфільда. Як можливі конкуренти були виділені «GS-Hydro» - фірма яка продає обладнання і надає його 3d-моделі для ознайомлення споживачів з функціоналом своїх товарів, а також російська онлайн-бібліотека 3d-моделей обладнання «BIMLIB», яка є головним аналогом ідеї «3D-MICE».

Метод Шонфільда належить до експертних методів оцінки. Даний метод застосовують для визначення конкурентних переваг продукції підприємства над продукцією конкурентів. Особливістю методу є наявність графіку – візуалізація переваг, що полегшує прийняття керівником наданої інформації.

Послідовність виконання:

1. Формується перелік характеристик продукції, які підприємство вважає важливими для своєї продукції.
2. Методом експертного опитування визначається вагомість кожної характеристики продукції з точки зору споживача. Оцінюють вагомість кожної характеристики цифрою від 0,0 до 1,0.
3. Формується перелік конкурентів, які виготовляють аналогічну продукцію.
4. Методом експертного опитування оцінюють від 1 до 5 балів кожену характеристику для продукції і для конкурентів.
5. Формується зведена таблиця оцінки характеристик продукції.
6. З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначається бальна оцінка кожної характеристики для продукції і для конкурентів.

Таблиця 6.4 – Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда

Показник	Коефіцієнт значущості	Оцінка за п'ятибальною шкалою		
		«GS-Hydro»	«BIMLIB»	«3D-MICE»
Графічний інтерфейс	0,2	3	4	4
		$0,2 \cdot 3 = 0,6$	$0,2 \cdot 4 = 0,8$	$0,2 \cdot 4 = 0,8$
Функціональність	0,3	3	4	5
		$0,3 \cdot 3 = 0,9$	$0,3 \cdot 4 = 1,2$	$0,3 \cdot 5 = 1,5$
Стабільність	0,1	4	4	4
		$0,1 \cdot 4 = 0,4$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$
Доступність	0,1	2	4	5
		$0,1 \cdot 2 = 0,2$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$	$0,1 \cdot 5 = 0,5$
Охоплення діяльності різних галузей хімічного виробництва	0,2	2	4	5
		$0,2 \cdot 2 = 0,4$	$0,2 \cdot 4 = 0,8$	$0,2 \cdot 5 = 1$
Ціна	0,1	3	4	4
		$0,1 \cdot 3 = 0,3$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$

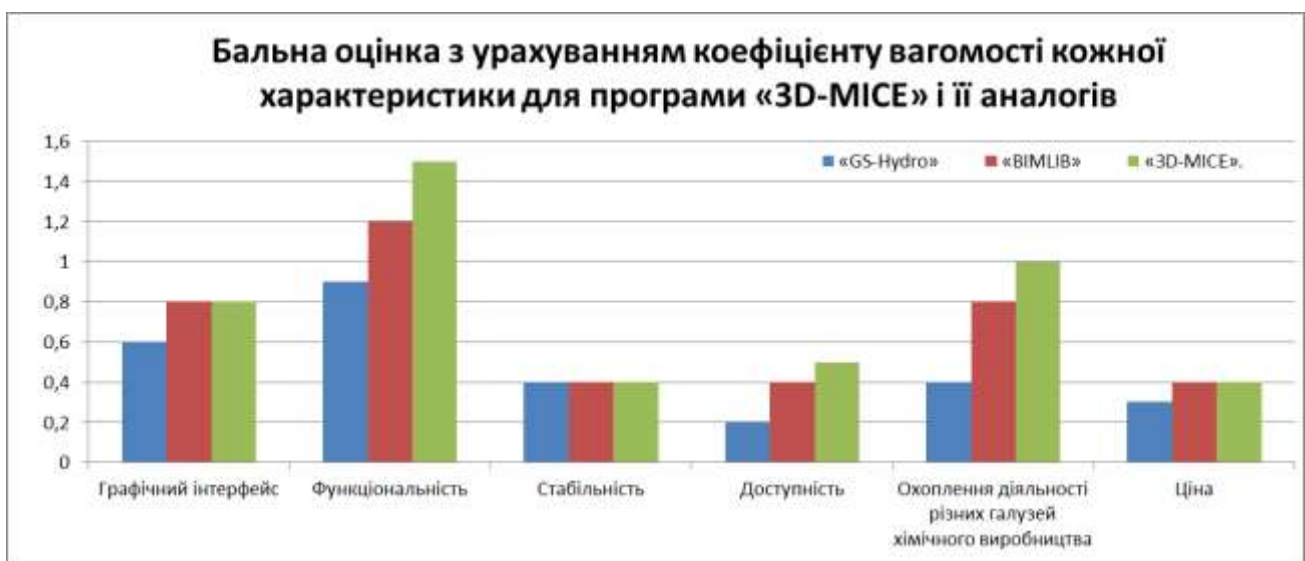


Рисунок 6.1 - Бальна оцінка з урахуванням коефіцієнту вагомості кожної характеристики для програми «3D-MICE» і її аналогів.

Відповідно до отриманих результатів (що представлені в таблиці 6.4 і на рисунку 6.1) головними факторами успіху даної розробки є краща функціональність і доступність, а також охоплення діяльності різних галузей хімічного виробництва, що дозволяє мати більший ринок збуту у порівнянні з конкурентами. За показниками «Графічний інтерфейс», «Стабільність» та «Ціна» програма «3D-MISE» конкурує з онлайн-бібліотекою «VIMLIB». Отже, відносно двох можливих конкурентів, програма «3D-MISE» є конкуренто спроможною.

6.4 Опитування споживачів та паспорт клієнта

Основою діяльності є задоволення потреб клієнтів. Передбачені три потенційні категорії споживачів:

1. Підприємства хімічної промисловості
2. Навчальні заклади хіміко-технологічного профілю
3. Проектні організації

Для перевірки їх потреб було проведено опитування в одній з категорій споживачів – підприємствах хімічної промисловості. Питання, які були поставлені до представників цих підприємств:

1. Чи цікавить Вас інформація про наявне на ринку хіміко-технологічне обладнання?
2. Чи часто постає питання реконструкції цехів?
3. Чи є у Вас проблеми з вибором необхідного для роботи підприємства обладнання?
4. Чи є у Вас потреба в програмному забезпеченні для проектування?
5. Чи цікавить Вас інформація про можливі об'єктно-планувальні рішення для вашого підприємства?
6. Чи хотіли б Ви мати засіб для 3d-моделювання хіміко-технологічних виробництв?

Результати опитування занесені до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Фіксування результатів опитування потенційних споживачів

Споживач	Бачення споживачем власної потреби	Відсоток, %	Коментарі, уточнення та пропозиції споживача
Великі хімічні підприємства	Була і він її знав	35	Ідея з розробкою дуже сподобалась, вважають, що можливості такої програми значно полегшать процеси реконструкції на підприємстві
Середні хімічні підприємства	Була, але він її не усвідомлював	25	Були часті випадки, що потрібно було знайти подібне програмне забезпечення, але не вважали це нагальною потребою
Малі хімічні підприємства	Була, але він її не усвідомлював	10	Особливо сподобалась функція створення 3d-моделі цехів, які в найближчому часі будуть спроектовані і запуснені в дію
Середні хімічні підприємства	Потреби не існує	20	Мають штаб працівників, які відповідають за всі проектувальні рішення
Малі хімічні підприємства	Була і він її знав	10	З радістю будуть користуватись таким програмним забезпеченням, порада лише зробити його доступнішим в ціні

В загальному, опитування дало нам хороші результати, оскільки близько 60% опитованих людей зацікавились ідеєю створення такої програми. Це представники малих, середніх і великих хімічних підприємств, які бажають заощадити на спеціалістах по підбору обладнання і отримати програмний продукт, який з легкістю можна буде використовувати для реконструкції і покращення вже функціонуючих виробництв. Дана розробка дозволяє вирішувати проблеми, які виникають на виробництвах. За результатами опитування розроблено паспорт клієнта (таблиця 6.6), який дозволяє виявити потенційні групи клієнтів, які можуть задовольнити свою потребу завдяки даній розробці.

Таблиця 6.6 – Клієнт і його потреби.

Категорія клієнтів	Характерні риси клієнта	Потреби, які задовольняються завдяки «3D-MICE»
Великі хімічні підприємства	Підприємства, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) перевищує 250 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності перевищує суму, еквівалентну 50 мільйонам євро, визначену за середньорічним курсом Національного банку України	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість заощадити на спеціалістах по підборі обладнання • Можливість отримати програмний продукт, який з легкістю можна буде використовувати для реконструкції і покращення вже функціонуючих виробництв • Можливість отримати програмний продукт, який можна буде використовувати для проектування запланованих для створення виробництв • Можливість отримати програмний продукт, який можна буде використовувати для навчання працівників
Середні хімічні підприємства	Підприємства, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) становить від 50 до 250 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності знаходиться в межах суми, еквівалентної від 10 до 50 мільйонів євро, визначеної за середньорічним курсом Національного банку України	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість заощадити на спеціалістах по підборі обладнання • Можливість отримати програмний продукт, який з легкістю можна буде використовувати для проектування майбутніх і покращення вже функціонуючих виробництв • Можливість отримати програмний продукт, який можна буде використовувати для навчання працівників

Продовження таблиці 6.6

Малі хімічні підприємства	Підприємства, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) становить менше 50 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності перевищує суму, еквівалентну 10 мільйонам євро, визначену за середньорічним курсом Національного банку України	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість заощадити на спеціалістах по підборі обладнання • Можливість отримати програмний продукт, який з легкістю можна буде використовувати для проектування майбутніх і виробництв і покращення вже функціонуючих • Можливість отримати програмний продукт, який можна буде використовувати для навчання працівників
Навчальні заклади хіміко-технологічного профілю	Здійснюють підготовку кваліфікованих працівників для об'єктів хімічної промисловості	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість отримати програмний продукт, який можна буде використовувати для підготовки спеціалістів
Проектні організації	Здійснюють виконання замовлень проектних робіт для об'єктів різних галузей (в тому числі і об'єктів хімічної промисловості)	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість отримати програмний продукт, який можна буде використовувати в проектній діяльності • Можливість отримати програмний продукт, який можна буде використовувати для навчання працівників

6.5 Оцінка ринкових позицій інноваційної розробки

Під аналізом ринку розуміється збір, зведення в систему і аналіз числових показників, що стосуються ринку і продажів. Проведення опитування (в нашому випадку анкетування) дозволяє вирішити завдання з визначення обсягу ринку програмного забезпечення, місткості сегменту, який нас цікавить (кількість конкурентних фірм), розподіл часток ринку між окремими компаніями, а також дозволяє визначити ключові фактори успішного просування нашого товару на ринку.

Аналізуючи ринок в цілому, слід розуміти, що тенденції ринку неможливо точно визначити одиничним вивченням. За основними показниками слід спостерігати постійно. При цьому, якщо мова йде про ринок програмного забезпечення, тобто товарів масового споживання, то вивчення має відбуватися щодо різних факторів, а також поведінки споживачів щодо покупки.

Отже, основними пошуковими питаннями для маркетингових досліджень ринку програмного забезпечення при розробці запропонованої програми «3D-MICE» є з'ясування:

- 1) кількості програм для моделювання хімічних виробництв існує на ринку;
- 2) діапазону цін на такі програми;
- 3) частоти використання таких програм;
- 4) найбільш застосовуваних функцій в таких програмах;
- 5) функцій, яких не вистачає в уже існуючих на ринку програмах;
- 6) ступеня зручності існуючих програм в користуванні;
- 7) основних джерел реклами, яким довіряють споживачі;
- 8) місце на ринку, яке може зайняти запропонована програма «3D-MICE» з урахуванням очікувань цільового сегмента і позицій, зайнятих товарами-конкурентами.

Основними гіпотезами є:

- 1) фінансовий чинник є найголовнішим чинником при покупці програм для моделювання хімічних виробництв;
- 2) недостатня наповненість ринку програмами, які здатні поєднувати всі необхідні споживачам параметри програм для проектування;
- 3) основною функцією таких програм є забезпечення потреб споживачів у можливості моделювання тих чи інших хімічних виробництв.

Зразок анкети для опитування респондентів представлений в додатку В

Також при дослідженні збутової діяльності необхідно враховувати не тільки мету і внутрішні виробничі можливості власного підприємства, а й прагнення інших учасників виробничого процесу на даному ринку.

Постійний контроль за конкурентами дозволяє:

1. Оцінити успіхи власної діяльності в порівнянні з конкурентами.

2. Реагувати на дії конкурентів, вживати попереджувальні заходи застереження і відповідно збільшувати ефективність своєї стратегії на ринку.

3. Визначити пріоритети своєї діяльності.

4. Підвищувати конкурентоспроможність власної продукції.

Готуючись вийти на ринок зі своїм товаром, необхідно визначитися, скільки і які суперники діють на ринку. Для цього необхідно відповісти на запропоновані далі запитання.

Зразок опитування для дослідження конкурентної ситуації на ринку представлений в додатку В.

Після такого дослідження доцільно провести коригування діяльності проекту та визначитися з пріоритетними напрямками розвитку.

Отже відносно комп'ютерної програми для 3D-модельовання хімічного обладнання «3D-MICE» остаточну оцінку задуму проводимо за критерієм місткості ринку.

Споживачі: на основі проведених опитувань можна стверджувати, що основними споживачами продукції будуть великі, середні і малі хімічні підприємства, а також навчальні заклади хіміко-технологічного профілю та проектні організації.

Цілі споживання: комп'ютерною програмою «3D-MICE» будуть користуватись для проектування майбутніх і покращення вже функціонуючих виробництв, для підбору обладнання і для навчання працівників основним принципам роботи хіміко-технологічного обладнання впродовж цілого року і особливих сезонних коливань не очікується.

Ціна: проведений аналіз ринку дає можливість стверджувати, що розроблена програма буде купуватися у великій кількості за ціною 250\$ за диск з ліцензійною версією та при ціновій надбавці 15-25% за встановлення оновлень, які можна буде купити на спеціалізованих сайтах.

Обсяг споживання: обсяг споживання визначаємо місткістю сегмента ринку програмного забезпечення для проектування хіміко-технологічного обладнання, яка розраховується за формулою:

$$E = \Pi \cdot K \cdot D_{\text{вид}} \cdot D_{\text{куп}} \quad (6.1)$$

Для цього визначаємо:

1) кількість потенційних споживачів на цільовому сегменті ринку (Π), яка розраховується виходячи з того, що за відносно невеликою ціною (250\$) програму можуть собі дозволити купити мінімум 500 споживачів;

2) коефіцієнт частоти повторних закупок продукту впродовж року (K) дорівнює 1 і визначений виходячи з того, що термін споживання продукту необмежений;

3) частку споживачів, які віддають перевагу конкретній видозміні (моделі) продукту ($D_{\text{вид}}$), дорівнює 0,8, що розраховується виходячи з кількості конкуруючих підприємств на даному сегменті ринку (оскільки основними конкурентами є схожі, але менш функціональні від «3D-MICE» російська бібліотека обладнання «BIMLIB» та «GS-Hydro» - фірма яка продає обладнання і надає його 3d-моделі для ознайомлення споживачів з функціоналом своїх товарів;

4) частку споживачів, які фінансово і психологічно готові купити нову програму для проектування хіміко-технологічних виробництв ($D_{\text{куп}}$), визначена відповідно до попередніх досліджень (кількість споживачів, які куплять новинку, але ретельно перевіряють та вислухають думку інших; обміркують перш, ніж придбають новинку та куплять новинку, не чекаючи визнання з боку інших), дорівнює 1.

Таким чином, планова місткість сегмента ринку програмного забезпечення для проектування хіміко-технологічного обладнання:

$$E = 500 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 400 \text{ (од.)}$$

Отже, обсяг попиту на запропоновану комп'ютерну програму для 3D-моделювання хімічного обладнання «3D-MICE» становить 400 одиниць на рік.

Коливання обсягів споживання: коливання практично не спостерігаються, адже попит на запропонований додаток відносно нееластичний.

Джерелами фінансування для стартап проекту по розробці комп'ютерної програми для 3D-моделювання хімічного обладнання «3D-MICE» можуть виступати:

1. Великі хімічні виробництва, які зазвичай здійснюють великомасштабне фінансування у розробку науково-технічних проектів
2. Міністерство освіти і науки України
3. Проектні організації, що часто розробляють проектні рішення для об'єктів хімічної промисловості.
4. IT-фірми (Klonа, Ерап, Softserve)
5. Фізичні особи, зацікавлені у розробці програми.

6.6 Розрахунок ціни інноваційної пропозиції на ринку

Ціноутворення - це процес обґрунтування, затвердження та перегляду цін і тарифів, визначення їх рівня, співвідношення та структури.

Всі методи ціноутворення можна об'єднати в три базові моделі, що визначають цінову політику фірми:

1. Витратні методи ціноутворення.
2. Методи, що спираються на попит.
3. Методи з орієнтацією на конкуренцію .

Ціна, яку було встановлено для продажу програми «3D-MICE» становить 250 \$/од.

Порівняємо ціну за різними методами ціноутворення на ринку.

Методи ціноутворення, що ґрунтуються на врахуванні витрат називаються витратними. До них належать метод повних витрат, метод надбавок, метод цільового прибутку та агрегатний метод.

Розглянемо метод повних витрат. Ціна розраховується, виходячи із суми постійних і змінних витрат на одиницю продукції й запланованого прибутку з урахуванням нижнього порогу ціни.

$$Ц = С + П, \quad (6.2)$$

де Ц – ціна одиниці товару, грн; С – собівартість одиниці товару, грн;

П – величина прибутку, яку бажає отримати підприємство від реалізації одиниці товару, грн.

Для початку проведемо калькуляцію усіх витрат для запуску проекту.

Таблиця 6.7 – Витрати на запуск проекту.

Оренда офісу	300\$/міс
Купівля обладнання	1000\$
Меблі	700\$
Купівля дисків	150\$
Персонал:	
- Програмісти (2)	1000\$ * 2 = 2000\$/міс
- Дизайнери і тестувальники програми на кожному етапі розробки (2)	500\$ * 2 = 1000\$/міс
- Маркетолог (1)	300\$/міс
- Бухгалтер (1)	300\$/міс
Кошти на рекламу, ліцензування продукту та підключення до мережі інтернет	250\$
Всього	6000\$/міс

Фонд оплати праці: $3600 * 1,22 * 12 = 52\,704$ \$/рік

Амортизація основних фондів: 250\$/рік

Кошти на рекламу, ліцензування продукту та оплату інтернету: 250\$

Річна собівартість продукції (створення програми і розмноження її на 400 дисків):

$$C = O\text{бз} + A \quad (6.3)$$

$$C = 52\,854 + 250 + 250 = 53\,354 \text{ \$}$$

Обсяг попиту на запропоновану програму «3D-MICE» становить 400 куплених дисків на рік.

Собівартість одиниці продукції (одного диска): $53354/400 = 133,39$ \$/од.

Очікуваний прибуток з одиниці продукції: 116,61 \$/од.

Отже, за методом повних витрат прогнозована ціна продукту становитиме:

$$\text{Ц} = \text{П} + \text{С} \quad (6.4)$$

$$\text{Ц} = 133,39 + 116,61 = 250 \text{ $/од.}$$

Річний прибуток від реалізації усіх 400 копій програми:

$$\Pi = \text{Ц} * \text{В} - \text{С} \quad (6.5)$$

$$\Pi = 400 * 250 - 53\,354 = 46\,646\$/\text{рік}$$

Капіталовкладення:

$$\text{К} = \text{ОФ} + \text{ОБЗ} \quad (6.6)$$

$$\text{К} = 400 + 52\,854 = 53\,254\$/$$

Рентабельність продукту:

$$\text{Р} = \Pi / \text{С} * 100 \quad (6.7)$$

$$\text{Р} = 46\,646 / 53\,354 * 100 = 87,43 \%$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$\text{Е} = \Pi / \text{К} \quad (6.8)$$

$$\text{Е} = 46\,646 / 53\,254 = 0,876$$

Термін повернення капіталовкладень:

$$\text{Т} = \text{К} / \Pi \quad (6.9)$$

$$\text{Т} = 53\,254 / 46\,646 = 1,14 \text{ року}$$

Головна перевага даного методу – легкість розрахунків. Проте є недоліки. По-перше не береться до уваги чинник попиту на товар, а по-друге ціна, порахована за витратним методом практично завжди завищена.

Розглянемо метод точки беззбитковості. Це такий метод, при якому підприємець прагне встановити таку ціну, яка забезпечить йому бажану величину чистого прибутку. Це метод вивчення взаємозв'язку між витратами і доходами при різному рівні виробництва, і саме тому він надзвичайно корисний на стадії підготовки й аналізу майбутнього проекту, а також на стадії його реалізації. Рівень беззбитковості по прибутку досягається при такому обсязі реалізації, виручки від якого досить для покриття всіх операційних витрат, включаючи амортизацію; рівень беззбитковості по грошовому потоці може бути отриманий, якщо замінити суму зносу основних активів на суму, необхідну для погашення заборгованості.

$$\Pi = \text{Ц} - \text{С}; \quad (6.10)$$

$$\text{якщо } \text{Ц} = \text{С}, \text{ то } \Pi = 0.$$

Випуск продукції за рік становить 400 одиниць.

Знайдемо ціну, за якою необхідно продавати продукцію, щоб вийти на точку беззбитковості.

$$\Pi = C_{\text{од}} \cdot V - (A + \text{ФОП} + \text{ОбФ}) \quad (6.11)$$

Оскільки ФОП погодинна, то вона не залежить від випуску продукції.

ОбФ = інтернет провайдер, реклама і ліцензування + купівля дисків = 250 + 150 = 400 \$/рік

ФОП = 52 704\$/рік

A = 250\$/рік

Нехай $C = x$, тоді:

$$x \cdot 400 - (250 + 52\,704 + 400) = 0$$

$$x = 133,39\$/\text{од}$$

Отже, для того, щоб $\Pi = 0$, необхідно понизити ціну до $C = 133,39\$/\text{од}$

Досить обмежено використовують агрегатний метод. Його суть полягає в тому, що ціна визначається додаванням цін окремих складових елементів товару, до яких додаються витрати на їх комплектацію та збирання. Для нашого проекту такий метод не підходить, оскільки окремих складових елементів немає.

До найпоширеніших методів встановлення цін з орієнтацією на конкуренцію можна віднести метод лідера та тендерного ціноутворення.

Розглянемо метод лідера. Для встановлення ціни цим методом можна застосувати два показники: питому ціну або параметричний індекс якості. Якщо ціну товару визначає один основний параметр, то для її обчислення застосовується питома ціна, тобто ціна в розрахунку на одиницю такого параметра. Вона визначається на основі відношення ціни базового виробу до значення його основного параметру.

У нашому випадку основним параметром є кількість обладнання, що представлено у програмі.

Як лідера оберемо онлайн-бібліотеку «BIMLIB» з показником якості – 75 зразків обладнання. Його ціна становить 200\$.

Показник якості нашої програми – це 100 зразків обладнання.

Тоді орієнтовна ціна нової продукції може бути обчислена як добуток питомої ціни на якісну характеристику нового товару:

$$Ц_{н} = (Ц_{р}/П_{р}) \cdot П_{н} \quad (6.12)$$

$$Ц_{н} = (200/75) \cdot 100 = 266,6 \text{ \$/од.}$$

Конкурентами для даної програми є наступні проекти:

1. Онлайн-бібліотека «BIMLIB» Ціна 200 \$. Основним призначенням є онлайн доступ до 3D-моделей різного технологічного обладнання без можливості створення проектів на основі цього обладнання.
2. «GS-Hydro» - фірма яка продає обладнання і надає його 3d-моделі для ознайомлення споживачів з функціоналом своїх товарів. Безкоштовне ознайомлення, але без можливості створення проекту виробництва з обраним обладнанням.
3. Онлайн-бібліотека «3dmodels.ru» надає безкоштовний доступ до 3D-моделей різного технологічного обладнання без можливості створення проектів на основі цього обладнання. Проект на стадії розвитку, тому представлена лише невелика кількість зразків обладнання.

Проте головними перевагами програми «3D-MICE» є: можливість не тільки отримати набір 3D-моделей технологічного обладнання, а й створити власний проект виробництва з використанням представленого у програмі обладнання, а також перевагою є великий асортимент обладнання розділеного на категорії за різними галузями їхнього використання у хімічній технології, а також доступна ціна.

Отже, проаналізувавши усі методи формування ціни на ринку, можемо зробити висновок, що ціна, яку встановлено (250\$) є доступною, що дозволить програмі «3D-MICE» бути конкурентоспроможною на ринку.

6.7 Оптимальна технологія продажу

Оцінюючи шанси на подальший ріст і розвиток стартапу, оптимальна технологія продажу – це продаж розробки стартапу.

Планове місце реалізації результату розробки – сайти, форуми і виставки програмного забезпечення.

Методи просування розробки на ринок – Реклама в інтернеті, створення відео-презентацій роботи програми «3D-MICE» та розсилка їх потенційним споживачам.

6.8 Концепція бізнес-моделі проекту

Концепція бізнес-моделі проекту – B2B (або «Business to business»), тобто в перекладі з англійської означає «бізнес для бізнесу», що означає форму торгівлі, яка орієнтована на продаж товару іншим юридичним особам, таким як, хімічні підприємства, навчальні заклади і проектні організації.

Використання такої моделі дозволяє зробити дану програму широко доступною для великої кількості підприємств і закладів по всій Україні, а в перспективі розвитку проекту і у світі. Працюючи без посередників, або мінімізувавши їх кількість, з'являється можливість встановлювати конкурентну ціну, що прямо пропорційно впливає на зростання прибутку.

6.9 Карта бізнес процесів реалізації проекту

Таблиця 6.8 - Карта бізнес-процесів виконання стартап проекту

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Розробка ідеї стартапу	1. Пошук інформації в мережі Інтернет	Дизайнери комп'ютери, Інтернет	24 год	50\$
	2. Обробка знайденої інформації	Вся команда	12 год	50\$

Продовження таблиці 6.8

Розробка ідеї стартапу	3.Створення структури підприємства	Вся команда	16 год	50\$
Реалізація ідеї	1.Пошук інвесторів	Менеджер, комп'ютер, Інтернет, телефон	18 год	100\$
	2. Аналіз ринку, конкурентів, порівняння	Менеджер, бухгалтер, комп'ютер, Інтернет, телефон	14 год	100\$
	3.Пошук виконавців замовлення (ІТ-компанії, або фрілансерів)	Менеджер, комп'ютер, Інтернет, телефон	8 - 10 год	75\$
	4. Облаштування офісу та робочих місць	Вся команда	16 год	2 000 \$
	5.Розробка макету програми, узгодження з виробником	Вся команда	8 год	75\$
Впровадження у виробництво	1.Створення етапів розробки програми	Менеджер, дизайнери, комп'ютер, телефон	20 год	50\$
	2. Написання коду програми	Програмісти	720 год	100\$
	3.Контроль кожного етапу розробки	Менеджер, дизайнери, комп'ютер, телефон	90 год	50\$

Продовження таблиці 6.8

Впровадження у виробництво	4.Презентація готового проекту	Програмісти, менеджер, дизайнери, комп'ютер	3 год	50\$
	5. Оплата праці учасникам проекту	Бухгалтер, комп'ютер, Інтернет	12 год	3 600 \$
Масова реалізація	1.Запис готової програми на диски	Програмісти, комп'ютер, Інтернет	4 год	50\$
	2.Реклама продукту в мережі Інтернет та форумах і виставках ПЗ	Менеджер, комп'ютер, Інтернет	4 год	100\$
	3.Підтримка готового продукту	Програмісти, дизайнери	240 год	1500 \$

Принципова особливість такого аналізу, як аналіз бізнес-процесів, полягає в тому, що він дозволяє побачити всю сукупність операцій (підприємства, компанії), що приводить (або не приводить) до створення додаткової вартості. Подібне бачення не просто інформує, а підштовхує менеджмент до зміни образу мислення, ракурсу оцінки, широти обхвату проблем, пов'язаного з поточною діяльністю. Логічним наслідком побудови подібної структури стає зміна традиційного підходу до оперативного і фінансового обліку, а також до основних принципів фінансового менеджменту, що реалізуються в підприємстві.

На прикладі стартап-проекту зі створення комп'ютерної програми для 3D-моделювання хіміко-технологічного обладнання «3D-MICE» після проведення системного аналізу діяльності запропоновано реалізувати всю карту бізнес-процесів даного стартап проекту з рівномірним розподілом функцій (власне бізнес-процесів) між різними виконавцями (елементами бізнес-процесів), а саме перерахованими в карті бізнес-процесів учасниками проекту. Також створення

карти бізнес-процесів даного проекту не призвело до створення додаткової вартості, отже розподіл процесів і фінансування між учасниками проведено раціонально.

6.10 Оцінка ризиків та страхування розробки

У даному підрозділі визначені найбільш імовірні ризики, які можуть виникнути при реалізації даного проекту. Оцінити ризики підприємницької діяльності можна на основі класифікації можливих ризиків.

Таблиця 6.9 – Оцінка ризиків.

Ризик	Коефіцієнт впливу на дохід	Імовірність настання ризику
1. Комерційні ризики:		
- конкуренти з нижчою ціною	0,7	0,5
- відсутність інформації про підприємство	0,95	0,2
- відсутність споживчого попиту на даний вид продукції	0,99	0,2
- необхідність створення системи знижок	0,4	0,4
- страхові витрати	0,5	0,3
2. Організаційні ризики:		
- складність із забезпеченням робочої групи кадрами необхідної кваліфікації	0,4	0,6
- проблеми своєчасного постачання матеріально-технічних ресурсів	0,9	0,3
- проблеми з організацією збутової мережі	0,95	0,5

Продовження таблиці 6.9

3. Технічні ризики:		
- необхідність конструкторського доопрацювання елементів обладнання в процесі виробництва	0,99	0,4
- необхідність доопрацювання в процесі виробництва технології виготовлення продукції	0,99	0,3
4. Фінансові ризики:		
- Інфляція	0,98	0,7
- Ризик неплатоспроможності споживачів	0,3	0,4
5. Форс-мажори	0,3	0,4

З метою страхування або усунення зазначених ризиків пропонуються наступні заходи.

Таблиця 6.10 – Заходи для усунення ризиків.

Група ризиків	Заходи щодо усунення або попередження
Комерційні	Впровадження періодичних (сезонних, акційних тощо) знижок на продукцію
	Створення більш вигідних умов дилерам у разі тривалої співпраці
	Забезпечення жорсткого контролю над новими версіями продукту
Організаційні	Зацікавлення кваліфікованих робітників зарплатнею, умовами праці та соціальним забезпеченням
	Своєчасне оновлення та підтримка продукції
	Чітке дотримання режимів роботи устаткування
	Своєчасне забезпечення посередників (сайтів і виставок) продукцією підприємства
	Ретельний підхід до організації виробництва

Продовження таблиці 6.10

Технічні	Придбання обладнання, яке максимально задовольняє потреби виробництва з урахуванням розширення підприємства
	Своєчасна заміна швидкозношуваних деталей обладнання
	Планові ремонти та профілактика обладнання
	Закладання прогнозованого росту інфляції у фінансово-економічні розрахунки;
Фінансові	Чітко прописані умови укладання кредитного договору
	Страхування майна
Форс-мажори	Створення фонду для покриття збитків у разі непередбачуваних ситуацій

Щодо страхування, то планується здійснити такі види страхування:

1. Договір на виконання та технічну підтримку замовлення по створенню мобільного додатку програмістами .
2. Договір на закупку та налаштування обладнання необхідного для реалізації проекту.
3. Страхування власної фірми від впливу різних несприятливих факторів (пожежа, відключення електроенергії і ін.).
4. Різні соціальні страхування співробітників підприємства.

На рисунку 6.2 підсумовано основні концепції реалізації стартап-проекту зі створенні комп'ютерної програми для моделювання хіміко-технологічного обладнання «3D-MISE».



Рисунок 6.2 – Основні концепції стартап-проекту зі створення комп'ютерної програми для моделювання хіміко-технологічного обладнання «3D-MICE».

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дана магістерська дисертація присвячена 3D-моделюванню у виробництві нітратної кислоти. Дисертація виконувалася в комп'ютерному класі № 157 кафедри ТНР, В і ЗХТ Хіміко-технологічного факультету (корпусу № 4 Національного технічного університету України "КПІ ім. Ігоря Сікорського"), площею підлоги 120 м², об'ємом 480 м³. У приміщенні працювало 10 чоловік. На кожного припадало по 12 м² площі підлоги і по 48 м³ об'єму приміщення, що відповідає санітарним нормам: $F_n = 6 \text{ м}^2$, $V_n = 19 \text{ м}^3$ (по СН 245- 71).

Розробка графічної документації була проведена на персональному ЕОМ.

В даному розділі на основі аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів розроблено засоби і заходи, які направлені на вдосконалення безпечних умов праці, пожежної профілактики та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

7.1 Охорона праці

7.1.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників в комп'ютерному класі кафедри ТНР, В і ЗХТ. Заходи з охорони праці.

7.1.1.1 Повітря робочої зони

Робота, що виконується в комп'ютерному класі в холодний період року, згідно ДСН 3.3.6.045-99, відноситься до категорії І б.

Оптимальні і допустимі параметри мікроклімату наведені у таблиці 7.1 [5].

Комфортний стан при даних температурах визначається вологовмістом, тому оптимальні і допустимі значення відносної вологості і швидкості руху повітря теж наведені в таблиці 7.1.

Також в таблиці 7.1 наведені фактичні значення температури повітря, відносній вологості і швидкості руху повітря.

Таблиця 7.1 - Оптимальні і допустимі норми, а також фактичні значення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочому приміщенні.

Категорія роботи	Період року	Параметр мікроклімату	Нормовані значення параметрів мікроклімату		Дані фактичних вимірювань
			Оптимальн.	Допустим.	
1 б	Холодний	Температура, °С	20-23	19-25	15
		Відносна вологість повітря %	60-40	75	56
		Швидкість руху повітря, м/с	Не більше 0,2	Не більше 0,2	0,1

Контроль температури в приміщенні проводиться з допомогою спиртового настінного термометра, а відносна вологість вимірюється з допомогою гігрометра. Вимірювання параметрів мікроклімату здійснюється 1 раз протягом робочого дня. У комп'ютерному класі передбачена система водяного центрального опалення для підтримки необхідної температури і вологості повітря. Вологість повітря в робочій зоні становить близько 75%, а фактична температура менше допустимої, оскільки не функціонує система опалювання.

Таким чином, повітря робочої зони не відповідає вимогам, що висуваються до повітря комп'ютерного класу. Для нормалізації параметрів температури та вологості повітря, передбачені наступні заходи: збільшити температуру теплоносія в системі опалення, збільшивши підігрів повітря в міських теплових мережах.

В цілях нормалізації мікроклімату і чистоти повітря робочої зони в комп'ютерному класі використовується періодичне провітрювання (через відкриті вікна або кватирки і двері, тривалість провітрювання не менше 10 хв/год) і система центрального опалювання в холодний період року. Температура води в

системі підтримується і змінюється з урахуванням температури зовнішнього повітря так, щоб досягти оптимальної температури на робочому місці (20-23 °С).

Оскільки провітрювання відриває від роботи за комп'ютером, то рекомендується використовувати кондиціонування повітря, для чого необхідно в комп'ютерному класі встановити кондиціонер.

7.1.1.2 Виробниче освітлення

Згідно ДБН В.2.5-28-06, зорові роботи у даному приміщенні відповідають IV розряду.

У комп'ютерному класі використовується бічне одностороннє природне освітлення через світлові отвори в зовнішніх стінах. Застосовується також робоче загальне штучне освітлення. Для цього використовуються 2 світильники відбиваючого світла типу Рондо-2 на п'ять ламп розжарювання типу МО. Значення освітленості при штучному освітленні і нормоване значення КЕО при природному і суміщеному освітленні відповідно до ДБН В.2.5-28-06 для роботи на ЕОМ наведені в таблиці 7.2.

Фактичне значення суміщеного освітлення 480 лк. Мінімальна освітленість робочої поверхні 400-500 лк. Отже, освітленість в комп'ютерному класі задовільна.

Таблиця 7.2 - Характеристика зорових робіт і норм освітленості в комп'ютерному класі.

Характеристика роботи зору	Розряд роботи зору	Освітленість при штучному освітленні, лк		Природне бічне освітлення КЕО %	Суміщене при бічному освітленні e_n^{III} %
		дод.	факт.		
середньої точності	IV	500	480	1,2	0,9

Згідно СН 181-70, стіни й стелі в комп'ютерному класі пофарбовані у світлі насичені тони з високою відбиваючою здатністю. Устаткування пофарбоване у світлі кольори.

Для покращення освітленості передбачено 4 рази на рік чистка плафонів та віконного скла від пилу, заміна ламп, які відпрацювали свій ресурс.

7.1.1.3 Виробничий шум

Головним джерелом шуму в комп'ютерному класі є друкуючі пристрої.

Шум робить шкідливий вплив на організм людини. Ті, які працюють в умовах тривалої шумової дії відчувають запаморочення, підвищену стомлюваність, у них порушується нормальна діяльність серцево-судинної і нервової систем, кровотворних органів і травлення, розвивається професійна туговухість.

Під час роботи на ЕОМ в комп'ютерному класі рівень звуку, згідно ДСанПіН 3.3.2-007-98, не повинен перевищувати 50 дБА [6]. Фактичне значення шуму в комп'ютерному класі складає 5 дБА, при роботі системного блоку і монітору - 30 дБА при включеному друкуючому пристрої. Отже, рівень звуку в комп'ютерному класі відповідає нормі, що робить розробку додаткових заходів недоречною.

7.1.1.4 Іонізуючі випромінювання

Головним джерелом іонізуючого випромінювання при роботі на ЕОМ є електронно-променева трубка (ЕПТ). При дії іонізуючого випромінювання на організм людини у тканинах можуть відбуватися складні фізичні і біохімічні процеси. Кількість легких іонів повинна відповідати оптимальним значенням: для позитивних іонів - 1500-3000, для негативних - 3000-5000. Коефіцієнт полярності (відношення різниці числа позитивних і негативних іонів до їх суми) повинен знаходитися в межах від 0,5 до 0.

Рівень невикористаного рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрану і інших поверхонь ЕОМ не повинен перевищувати 100 мкР/ч.

За даними радіологічної служби НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" інтенсивність іонізуючого випромінювання в комп'ютерному класі відповідає необхідним нормам.

7.1.1.5 Електробезпека

Згідно з вимогами ПУЕ, приміщення комп'ютерного класу, в якому була виконана робота, за небезпекою ураження людей електричним струмом відноситься до I категорії (приміщень без підвищеної небезпеки).

Живлення ЕОМ здійснюється від трифазної чотирьохпровідної електромережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю.

Ураження електричним струмом при роботі з ЕОМ можливо в результаті дотику до відкритих частин, які проводять струм (при роботі з моніторами, у яких порушений зовнішній вигляд, - висунутий вперед екран, пошкоджена поверхня корпусу і ЕПТ і тощо); в результаті дотику до струмопровідних неведучих елементів устаткування, що опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції (при ремонті і профілактичних оглядах); через електричну дугу (якщо є нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані).

Під час експлуатації устаткування в процесі контактної електризації у деяких елементах ЕОМ (екран, пристрій введення-виведення) можуть з'явитися розряди статичної електрики, які можуть викликати неприємні відчуття уколу, поштовху при дотику до наелектризованих частин устаткування.

Безпечні значення струму і напруги дотику при даному шляху його протікання і тривалості дії відповідно до ГОСТ 12.1.038-82:

- у нормальному режимі роботи $I_{д} = 0,3$ мА і $U_{пр} = 2$ В, з часом дії до 10 хвилин на добу;
- в аварійному режимі роботи $I_{д} = 6$ мА і $U_{пр} = 36$ В, при контакті більше 1с.

Особливо небезпечне ураження електричним струмом можливо при одночасному дотику до металевих корпусів електрообладнання і до заземлених газових та водопровідних комунікацій. Найчастіше бувають два випадки

замикання ланцюга струму через тіло людини: коли він торкається одночасно до двох провідників (двофазне), і коли він торкається тільки до одного провідника (однофазне). Перший випадок небезпечніший, оскільки до тіла людини прикладається лінійна напруга. У цьому випадку струм, який проходить через тіло людини дорівнює:

$$I_l = \frac{U_l}{R_l} \cdot 10^3, \text{ мА}$$

де $U_l = 380$ – лінійна напруга, В;

$R_l = 1000$ – опір тіла людини, Ом.

$$I_l = \frac{380}{1000} \cdot 10^3 = 380, \text{ мА.}$$

При цьому напруга дотику дорівнює: $U_d = I_l \cdot R_l = 0,38 \cdot 1000 = 380 \text{ В}$.

Однофазний дотик зустрічається частіше, ніж двофазний. Такий дотик менш небезпечний, тому що до тіла людини прикладається фазна напруга. Струм, що проходить через тіло людини, в цьому випадку, дорівнює:

$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_o} \cdot 10^3, \text{ мА}$$

де $U_\phi = 220$ – фазна напруга, В;

$R_l = 2000$ – опір тіла людини, Ом;

$R_o = 4$ – опір нейтралі заземлення, Ом.

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

При цьому напруга дотику дорівнює: $U_d = I_l \cdot R_l = 0,1098 \cdot 2000 = 219,6 \text{ В}$.

Порівнюючи розрахункові значення струмів з допустимими, згідно ГОСТ 12.1.038-82, можна зробити висновок, що при порушенні правил ПУЕ в комп'ютерному класі можливі електротравми з важкими наслідками.

Під час проведення НДР використовувалися прилади в робочому стані та класу 01. Ці прилади мають додатковий захист від ураження людини електричним струмом з допомогою занулення. Для попередження нещасних випадків при виконанні магістерської дисертації виконувалися наступні умови:

- перевірялась цілісність з'єднувальних проводів та ізоляції при підключенні приладів;
- використовувалися прилади заводського виготовлення з використанням малих напруг;
- для колективного захисту від ураження електричним струмом в аварійних випадках в комп'ютерному класі використовуються занулення корпусів електроустаткування, гумові килимки, ізолюючі підставки.

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачені наступні заходи: занулення корпусів електрообладнання, захисне вимикання, малі напруги, наявність засобів індивідуального захисту (гумові діелектричні рукавиці), подвійна ізоляція електроустаткування, електричний поділ мережі. Як організаційні заходи проводяться: інструктаж і перевірка знань правил безпеки, інструкцій, правил надання долікарняної допомоги.

7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

7.2.1 Атестація робочого місця за умовами праці

Оцінка фактичного стану праці на робочому місці дослідника проводиться за даними атестації робочого місця і спеціальних інструментальних вимірів рівнів факторів виробничого середовища, які відображені у карті умов праці робочого місця дослідника (таблиця 7.3).

Карта умов праці на робочому місці

Підприємство: КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра ТНР, В та ЗХТ

Аудиторія: № 157

Відповідальний за заповнення карти: Концева Марія Володимирівна

Дата заповнення: 30.11.2018

Таблиця 7.3 - Карта умов праці оператора ЕОМ комп'ютерного класу № 157 кафедри ТНР, В і ЗХТ ХТФ НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського".

п/п	Чинники виробничого середовища, ГДУ	Норматив	Фактичне значення	Ступінь шкідливості фактора Х, бал	Тривалість за зміну, Т	Шкідливість фактична Хфакт., бал
1	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря %	20-23 не більше 0,2 60-40	15 0,1 56	2 - -	1 1 1	2 - -
2	Шум, дБА	50	30	-	0,05	-
3	Освітленість, лк	500	480	--	0,5	-
4	Напруженість праці: - тривалість зосередження у часі (% часу зміни) - напруженість аналітичних функцій	до 50 середньої точності	85 середньої точності	1 -	0,85 1	0,85 -
Сума балів, Σ Хфакт.						2,85

Сума значень чинників виробничого середовища (Σ Хфакт.) складає 2,85 балів, звідси розмір доплат за шкідливі умови праці складе - 8 %.

В результаті виявлення і аналізу шкідливих і небезпечних виробничих чинників в комп'ютерному класі, а також після складання карти умов праці оператора ЕОМ можна зробити висновки, що умови праці на робочому місці оператора ЕОМ шкідливі.

Шкідливість умов праці визначається наступними чинниками:

- низька температура повітря;
- тривалість зосередження 85% від часу зміни.

Робоче місце підлягає раціоналізації. На підставі висновків розроблені рекомендації, які передані завідувачому аудиторіями кафедри та відповідальному за організацію умов праці в комп'ютерному класі для реалізації необхідних заходів щодо запобігання шкідливим чинникам, перерахованим вище.

7.2.2 Пожежна безпека

Горючими компонентами в комп'ютерному класі є: меблі, віконні рами, двері, підлоги, ізоляція кабелів і електропроводок, а також радіотехнічні деталі, рідина для очищення ЕОМ і вузлів ЕОМ від забруднень, зокрема ацетон і етиловий спирт.

Виділення тепла і нагрівання до небезпечних температур може відбутися при нещільному контакті в з'єднувальних дротах. А також, причинами загорянь і пожеж можуть бути: перенапруження електрообладнання, порушення елементарних правил пожежної безпеки, несправність електроустаткування, самозагоряння, статична електрика, грозові розряди.

У зв'язку з високою пожежною безпекою, будівля споруджена з негорючого матеріалу (бетон, цегла) та відноситься до другого ступеня пожежної стійкості. Для забезпечення пожежної безпеки в комп'ютерному класі виконуються наступні заходи:

- для запобігання перевантаження системи використовують плавкі запобіжники;
- в приміщенні аудиторії на випадок пожежі встановлені два ручних вуглекислотних вогнегасники типу ВВ-8;
- лабораторія забезпечена автоматичною електричною пожежною сигналізацією з тепловими оповіщувачами та згідно з ГОСТ 12.1.004-85, внутрішнім пожежним краном:
 - для забезпечення блискавкозахисту на будівлі, згідно з СН 305-17, встановлено декілька блискавковідводів стрижньового типу;
 - використання засобів колективного захисту від статичної електрики, згідно з ГОСТ 12.4.124-83, а саме використовується відвід зарядів за допомогою заземлення;
 - для запобігання загоряння електрообладнання, електропроводка розташовується в недоступному для механічного пошкодження місці;

- для запобігання перевантаження встановлені запобіжники і контрольно-вимірювальні прилади які здійснюють систематичну перевірку опору електромережі, з'єднань і контактів.

- щільні з'єднання проводів виконані з використанням паяння в місцях контактів.

При виникненні пожежі забезпечується евакуація людей через центральний вихід безпосередньо на вулицю.

7.2.3 Аналіз небезпеки об'єкту

Згідно Положення «Про план локалізації аварійних ситуацій», наш об'єкт за рівнем небезпеки може бути віднесений до рівня А.

Під час проведення науково-дослідної роботи може виникнути пожежа при недотриманні правил техніки безпеки при роботі на обладнанні, яке знаходиться під напругою, а також при порушенні ізоляції даних електроприладів.

При виникненні пожежі слід виконувати наступний план дій: подати сигнал пожежної тривоги - сирена; викликати пожежну команду по телефону «101»; почати пожежогасіння усіма підручними засобами - вогнегасник, пісок, вода; організувати перенесення в безпечне місце горючих матеріалів, негайно сповістити про пожежу інженера.

При виконанні магістерської дисертації, можуть виникнути такі аварійні ситуації: відключення електропостачання, яке живить засоби захисту, обривання і коротке замикання електрообладнання.

У випадку займання ЛЗР необхідно:

- негайно приступити до їх гасіння, застосовуючи відповідні для даного випадку засоби гасіння (пісок, порошкові та інші вогнегасники);

- винести з приміщення посудини з вогненебезпечними речовинами.

У випадку розбиття термометра розсипану ртуть необхідно зібрати, зберігати під шаром води. Надалі здати у встановленому порядку.

7.2.4 Оцінка надійності захисту працівників об'єкту з використанням захисних споруд за місткістю та за захисними властивостями

Захисні споруди мають завжди бути підготовлені для прийому людей і мати належні захисні властивості та санітарно-технічний стан. Організація підтримання захисних споруд для використання їх за прямим призначенням і контроль за правильною експлуатацією здійснює служба сховищ і укриттів об'єкта [N].

Підготовка сховища до прийому людей включає:

- звільнення сховища від зайвого обладнання і майна;
- розконсервацію обладнання;
- перевірку систем життєзабезпечення, санітарно-технічних пристроїв і зв'язку;
- перевірку герметизації та усунення недоліків;
- установлення нар;
- закладання продуктів, медикаментів, запасу води.

Таблиця 7.4 Характеристики захисних споруд кафедри ТНР, В та ЗХТ

Тип, номер захисної споруди	Площа приміщень, м ²				Висота приміщень	Аварійний вихід
	Людей з санітарним постом	Допоміжні				
		ФВП, санвузли	Для продуктів	Тамбур шлюз		
Сховище 1	62	12	4	10	2,4	є

Наявність основних і допоміжних приміщень: Сховище 1 відповідає нормам.

Розрахункова місткість захисних споруд за площею: на одну людину передбачена площа 0,5 м² при висоті приміщення 2,4 м.

$$M_1 = \frac{62-2}{0,5} = 120 \text{ ос.}, \text{ де } 2 \text{ м}^2 \text{ виділено на санвузли.}$$

Розрахункова місткість за об'ємом приміщень: на одну людину передбачений об'єм 1,5 м³.

$$M_o = \frac{(S_{\text{пр}} + S_d) \cdot h}{1,5} = \frac{(62 + 4 + 12 + 10) \cdot 2,4}{1,5} = 141 \text{ ос.}$$

Коефіцієнт місткості:

$$K_M = \frac{M}{N} = \frac{120}{110} = 1,09,$$

де N – кількість працівників найбільшої зміни

Визначаємо потрібну кількість двох'ярусних нар у приміщеннях для людей:

$$N = \frac{M}{5} = \frac{120}{5} = 24 \text{ нар}$$

Висновок: $K_M > 1$, тобто захисні споруди дозволяють розмістити всіх працівників найбільшої зміни. Слід придбати 24 двох'ярусних нари для захисних споруд.

Вихідні дані для оцінки захисних властивостей споруди :

- віддаленість об'єкта від точки прицілювання $R_r = 2,5$ км;
- очікувана потужність ядерного боєприпаси $q = 200$ кт;
- вид вибуху – наземний;
- ймовірне максимальне відхилення центру вибуху боєприпаси від точки прицілювання $r_{\text{відх}} = 0,5$ км;
- швидкість середнього вітру $V_{\text{св}} = 100$ км/год;
- напрям середнього вітру – у бік об'єкта;
- конструкції захисних споруд розраховані на надмірний тиск: сховище № 1 $\Delta P_{\text{ф. зах}} = 200$ кПа;
- коефіцієнт ослаблення радіації сховища № 1 $K_{\text{осл. зах}} = 1000$.

Визначаємо потрібні захисні властивості споруд:

а) для захисту від ударної хвилі:

$$R_{\text{min}} = R_r - r_{\text{відх}} = 2,5 - 0,5 = 2 \text{ км}$$

За значенням $R_{\text{min}} = 2$ км, потужністю боєприпасу $q = 200$ кт при наземному вибуху визначаємо $\Delta P_{\text{ф. max}}$:

$$\Delta P_{\text{ф. max}} = \Delta P_{\text{ф. потр}} = 60 \text{ кПа}$$

б) для захисту від радіоактивного зараження:

$K_{\text{осл. потр}}$ розраховуємо за формулою

$$K_{\text{осл.потр.}} = \frac{D_{\text{р.з}}}{D_{\text{доп}}} = \frac{5 \cdot P_{1\text{max}}(t_{\text{п}}^{-0,2} - t_{\text{к}}^{-0,2})}{50}$$

для чого визначаємо: $t_{\text{п}} = \frac{R_{\text{min}}}{V_{\text{с.в}}} + 1 = \frac{2}{100} + 1 = 1$ та $t_{\text{к}} = t_{\text{п}} + 96 = 1 + 96 = 97$ год.

$P_{1\text{max}}$ – максимальний рівень радіації, очікуваний на об'єкті на 1 год після вибуху, якщо $q = 200$ кт $R_{\text{min}} = 2$ км, $V_{\text{с.в}} = 100$ км/год, $P_{1\text{max}} = 10880$ Р/год, тоді

$$K_{\text{осл.потр.}} = \frac{5 \cdot 10880(1^{-0,2} - 97^{-0,2})}{50} = 952,2$$

Визначаємо наявні захисні властивості захисних споруд:

- а) від ударної хвилі відповідно до вихідних даних: $\Delta P_{\text{ф. зах.}} = 200$ кПа
- б) від радіоактивного зараження: відповідно до вихідних даних $K_{\text{осл.}} = 1000$

Порівнюємо захисні властивості захисних споруд з потрібними:

- а) за ударною хвилею: для сховища №1 $\Delta P_{\text{ф. зах}} > \Delta P_{\text{ф. потр.}}$
- б) за іонізуючим випромінюванням: для сховища №1 $\Delta P_{\text{ф. зах}} > \Delta P_{\text{ф. потр.}}$

Висновок: Сховище № 1 забезпечує захист людей, що в ньому перебувають, у максимальній кількості 120 осіб.; захисні властивості сховища №1 відповідають вимогам і забезпечують захист всіх робітників.

ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації представлено технологію отримання неконцентрованої нітратної кислоти, розрахунки обладнання (що використовується в даній технології) та методика створення 3d-моделі цього виробництва.

В теоретичній частині розглянуто фізико-хімічні основи основних методів виробництва нітратної кислоти та проведено їх порівняння. Після проведення порівняння методів була обрана технологічна схема виробництва нітратної кислоти під єдиним тиском 0,716 МПа, яка складається з таких стадій як підготовка і компресування повітря, підготовка газоподібного аміаку, підготовка аміачно-повітряної суміші, конверсія аміаку та охолодження нітрозного газу, абсорбція оксидів азоту, селективне очищення хвостових газів від залишкових оксидів азоту, рекуперація енергії тиску і теплоти очищених хвостових газів.

Виконані розрахунки матеріального і енергетичного балансу процесів, які відбуваються в основних апаратах технологічної схеми (контактному апараті, окиснювачі з підігрівачем повітря, холодильнику–конденсаторі, абсорбційній колоні та реакторі селективного очищення) та перевірено їх за допомогою кафедральної програми. Визначено необхідну кількість газів необхідних для забезпечення заданої продуктивності, визначено необхідну кількість додаткового повітря необхідного для процесу окиснення NO в NO₂, а також визначено необхідну кількість води на зрошення абсорбційної колони та обігової води для відведення теплоти, що виділяється в процесі кислотоутворення в холодильнику-конденсаторі та абсорбційній колоні.

Розділ 3d-моделювання присвячений методиці створення 3d-моделей хіміко-технологічного обладнання в середовищі Blender. Описано основні техніки, засоби, операції, функції і модифікатори, необхідні для моделювання, а також наведено 20 ілюстрацій для кращого розуміння цього процесу.

В економічній частині проведена оцінка можливості реалізації стартап-проекту зі створення комп'ютерної програми, що міститиме бібліотеку 3d-

моделей хіміко-технологічного обладнання, за допомогою розрахунку основних техніко-економічних показників проекту. Розрахована собівартість реалізації такого проекту, а також рентабельність та термін повернення коштів. Оскільки розроблений стартап-проект має досить високу рентабельність (87,43%), а термін повернення капіталовкладень складає 1,14 року, то даний проект можна вважати вартим уваги інвесторів.

В розділі охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях на основі аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів та на підставі атестації робочого місця дослідника розроблено засоби і заходи, які направлені на вдосконалення безпечних умов праці, пожежної профілактики та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Таким чином, магістерською дисертацією досягнуто поставленої мети, виконано обов'язкові завдання та розширено коло питань, які потребують досліджень, нових розробок та втілення їх у вже існуючі виробництва.

Подальша робота над створеною в рамках даної магістерської дисертації 3d-моделлю полягає у проведенні її вдосконалення, та адаптації під щоденне використання студентами в процесі навчання. Використаний підхід покращення візуалізації об'єктів хімічної технології розвиватиме просторове уявлення студентів при проектуванні складних хіміко-технологічних схем і сприятиме більш глибокому вивченню хімічних технологій неорганічних речовин та процесів водоочищення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атрощенко В. И. Технология азотной кислоты / В. И. Атрощенко, С. И. Каргин – М.: Химия, 1970. – 494 с.
2. Олевский В. М. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / под ред. В. М. Олевского. – М.: Химия, 1985. – 400 с.
3. Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://tnr.kpi.ua/index.php/ua/> (дата звернення 25.10.2018).
4. Караваев М. М. Каталитическое окисление аммиака / М. М Караваев, Ф. П. Засорин, Н. Ф. Клещев. – М.: Химия, 1983. – 232 с.
5. Жаворонков Н. М. Справочник азотчика: В 2 ч. / Под ред. Н. М. Жаворонкова. - М.: Химия, 1987.- Ч.2. – 464 с.
6. Постійний технологічний регламент № 24-200 виробництва неконцентрованої азотної кислоти. – Рівне, 2010 285 с.
7. Курс по основам Blender 2.7+ [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://blender3d.com.ua/blender-basics/> (дата звернення 15.10.2018).
8. Blender Tutorial For Beginners [Електронний ресурс] // YouTube. – Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?v=y__uzGKmx8.
9. LittleWebHut. Blender [Електронний ресурс] // YouTube канал . – Режим доступу: <https://www.youtube.com/channel/UCJspWFXSL1guQPdFqh4IFjQ>.
10. Blender Guru. Blender Beginner Tutorial Series [Електронний ресурс] // YouTube канал . – Режим доступу: <https://www.youtube.com/user/AndrewPPrice>.
11. BlenderDiplom Tutorials. Blender Animation [Електронний ресурс] // YouTube канал. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/user/BlenderDiplom>.
12. Ткачук К.Н. Основи охорони праці: підручник. / К.Н. Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний, Д.В.Зеркалов; за ред. К.Н.Ткачука і М.О.Халімовського. – К.: Основа. 2006 – 448 с.
13. Омомоо

14. Тгги

15. иорорио

ДОДАТОК А

Розрахунок основних апаратів за допомогою кафедральної програми

1. Розрахунок контактного апарату

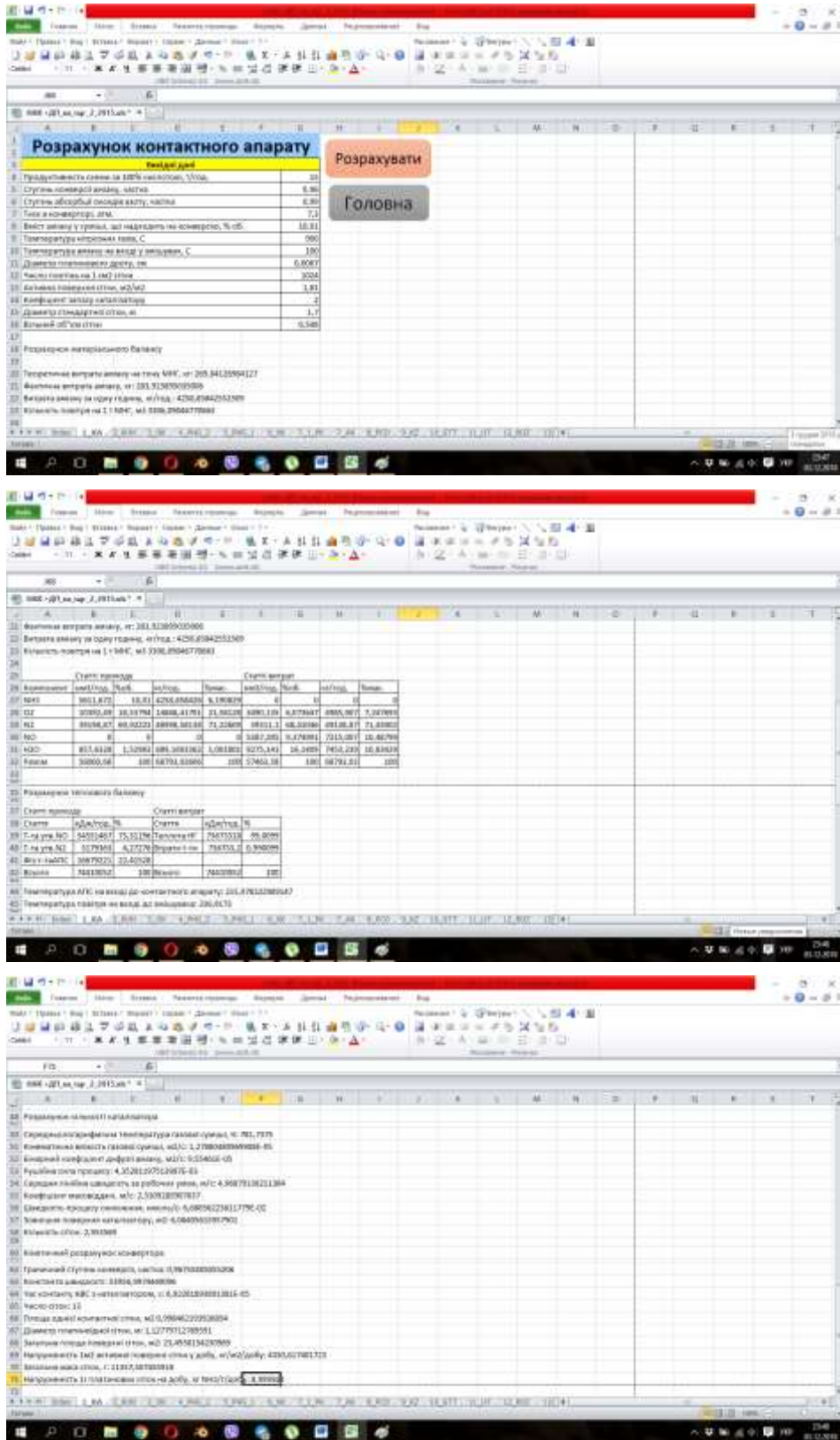


Рисунок А.1 – Розрахунок контактної апарату

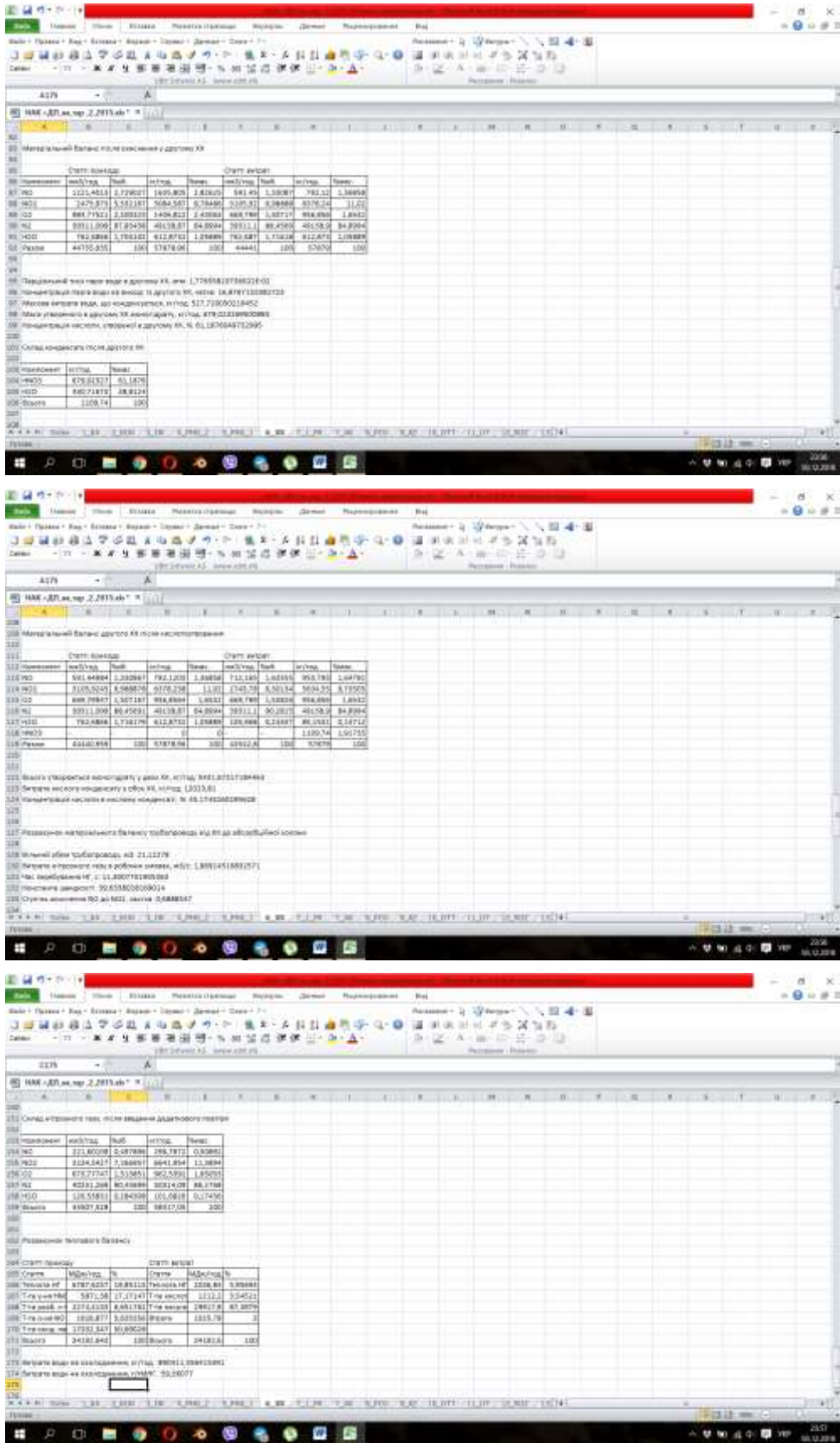


Рисунок А.4 – Розрахунок холодильника-конденсатора (частина 2)

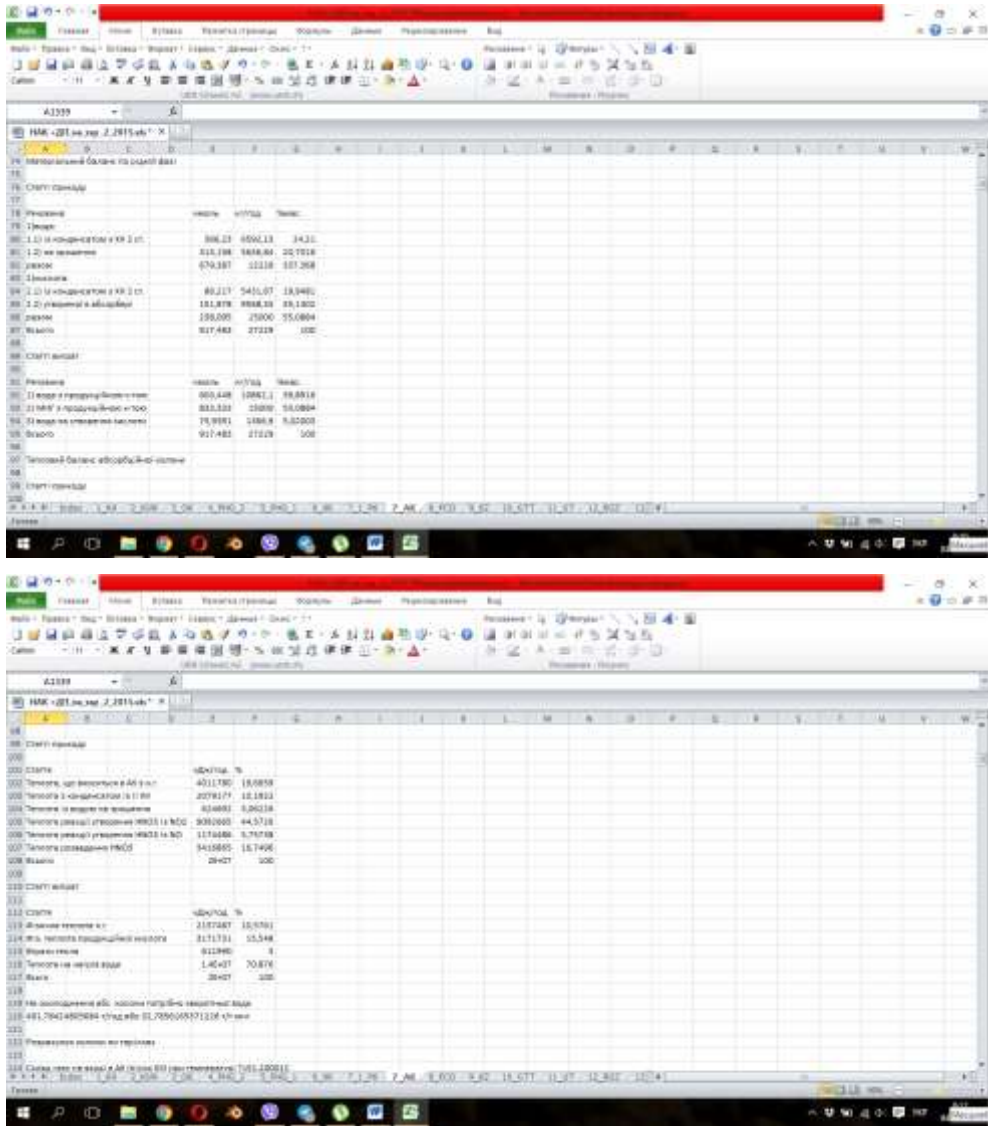


Рисунок А.6 – Розрахунок абсорбційної колони (частина 2)

5. Розрахунок реактора селективного очищення

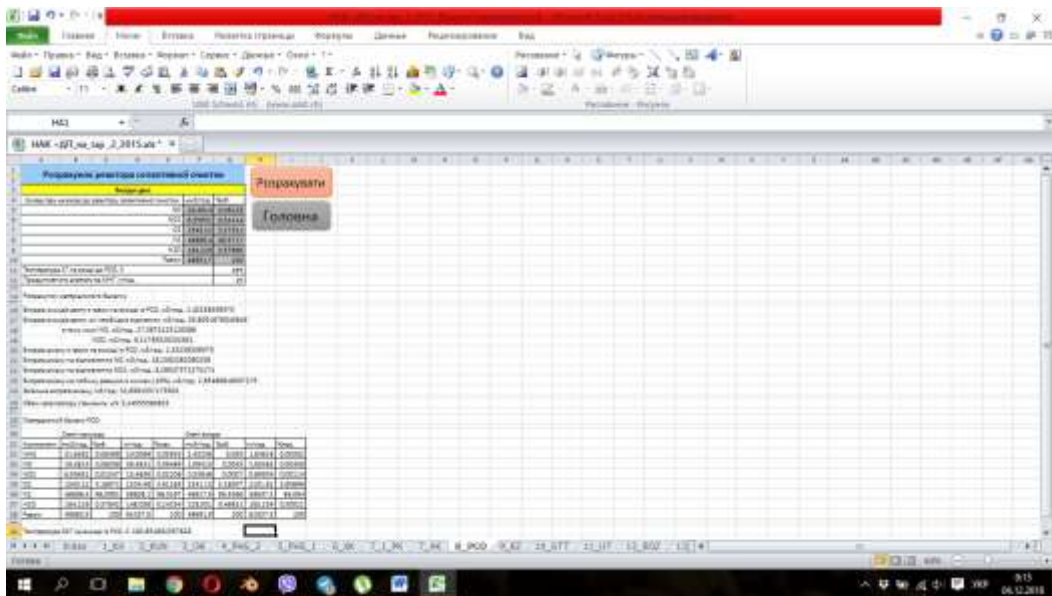


Рисунок А.7 – Розрахунок реактора селективного очищення

ДОДАТОК Б

Зразок договору на розробку програми «3D-MICE»

Договір купівлі-продажу програми «Розробка програми «3D-MICE»»

№ 001

від 5 листопада 2018 року

м. Київ

Замовник:

ТОВ «3D-MICE» в особі директора Концевої Марії Володимирівни, що працює на підставі модельного статуту, Україна.

Виконавець:

ПАТ «Клопа» в особі Даниляка Петра Михайловича, що працює на підставі статуту підприємства, Україна, уклали договір про наступне:

1. Предмет договору

1.1 Виконавець зобов'язується передати у власність покупця належний замовнику товар, Замовник зобов'язується прийняти товар та оплатити його вартість на умовах цього договору.

1.2.1 Найменування: «3D-MICE»

1.2.2 Кількість товару і його склад:

Програмне забезпечення з відкритим кодом, доступ до адміністративної панелі програми. Перелік інструкцій щодо використання даного програмного забезпечення.

1.2.2 Ціна та загальна вартість договору:

Загальна вартість робіт за цим договором становить 121 200 грн (в тому числі ПДВ 20%, що становить 24 240 грн).

2 Умови платежу, передання та приймання товару

Загальна вартість робіт за цим договором становить 121 200 грн (в тому числі ПДВ 20%, що становить 24 240 грн). Здача робіт Виконавцем та приймання їх Замовником оформлюється Актом прийому-передачі виконаних робіт, який підписується впродовж 3 робочих днів після фактичного завершення робіт. Виконавець виставляє рахунок-фактуру Замовнику на суму договору не пізніше 14 календарних днів після укладення договору.

3 Форс-мажор

Жодна сторона не несе відповідальність перед іншою стороною за невиконання зобов'язань, обумовлене обставинами, що виникли всупереч волі і бажанням сторін і які не можна уникнути чи передбачити, зокрема, але не виключно, ембарго, повені, пожежі, терористичні акти та інші стихійні явища.

4 Гарантії якості

Замовник до моменту підписання Акту передачі-прийняття товару зобов'язується протестувати програму згідно заявлених вимог та підписати Акт про підтвердження відповідності товару. Договір продовжується на 3 місяці у випадку не задоволення замовником якістю послуги на етапі розробки у випадку об'єктивності претензій. Під об'єктивністю претензій мається на увазі: знайдена хоча б одна критична помилка в сервісі, виникає збій в роботі програми, функціонал не відповідає вимогам замовника. Виконавець зобов'язується виправити всі недоліки в цей термін. Після виправлення недоліків тестування проводиться ще раз. Тестування проводиться не пізніше ніж за п'ять днів до моменту передачі товару.

5 Відповідальність сторін

5.1 За порушення термінів передачі товару Виконавець сплачує покупцю пеню в розмірі 5% від загальної вартості пакету послуг на момент укладення договору за кожні два тижні, що прострочені.

5.2. У випадку виникнення неполадок у роботі програмного забезпечення протягом півроку (не по вині покупця) Виконавець зобов'язується поставити виправлену версію програми.

5.3 Сторона, яка порушила господарське зобов'язання зобов'язана відшкодувати завдані цим збитки стороні, чий права або законні інтереси якої порушено.

5.4 За несвоєчасну оплату або неповну оплату вартості товару Замовник сплачує Виконавцю пеню в розмірі 10% від вартості поданого пакету послуг на момент укладення договору.

5.5 Усі суперечки вирішуються шляхом переговорів між сторонами, якщо відповідний спір неможливо вирішити шляхом переговорів він вирішується в судовому порядку.

6.Інші умови

Цей договір укладається у двох примірниках, що мають однакову юридичну силу, по одному для кожної зі сторін.

Виконавець
ПАТ «Кlona»
Даниляк Петро Михайлович
СЕОДиректор
вул. Кудряшова 146
Код ЄГРПОУ 33880213

Замовник
ТОВ «3D-MICE»
Концева Марія Володимирівна
вул. Світлична 14 оф.4-12

ДОДАТОК В

Зразки анкет для опитування респондентів та для дослідження конкурентної ситуації на ринку

Зразок анкети для опитування респондентів

Анкета маркетингового дослідження споживчих переваг та недоліків комп'ютерних програм для моделювання хімічних виробництв

№ _____ від _____ 2018 року

Дорогий друже!

Група розробників комп'ютерної програми «3D-MICE» просить Вас взяти участь у анонімному анкетуванні з метою визначення недоліків та підвищення якості своєї роботи. Ваша думка і відверті відповіді будуть мати вирішальне значення при розробці нової багатофункціональної та зручної в користуванні програми для моделювання хімічних виробництв. Заздалегідь Вам вдячні та просимо висловити особисту точку зору з перелічених питань. Вам потрібно уважно ознайомитися з питаннями анкети, обрати один, або декілька варіантів відповіді із запропонованих. Просимо поставити + або V (галочку) у відведеному місці навпроти відповіді (або відповідей), які найточніше відповідають Вашій думці. За Вашу участь Ви отримаєте подарунок – календарик на 2019 рік з логотипом «3D-MICE» і сайтами, де можна ознайомитись з функціями даної програми і придбати її.

Дякуємо за Вашу активність!

1. Чи користуєтесь Ви комп'ютером?

- а) Так;
б) Ні.

2. Для яких функцій Ви використовуєте Ваш комп'ютер?

- а) Для роботи;
б) Як джерело ігор та розваг;
в) Для електронного спілкування;
г) Як відеоплеєр;
д) Як музичний плеєр;
е) Як пристрій з великою кількістю функцій і можливостей;
ж) Для демонстрації високого рівня доходів;
з) Свій варіант: _____

3. Як Ви ставитесь до комп'ютерних програм-новинок?

- а) купую один і той же звичний продукт;
б) люблю експериментувати і купувати нові продукти;
в) люблю користуватись лише «піратським» програмним забезпеченням.

4. Де Ви найчастіше купуєте програмне забезпечення для Вашого комп'ютера?

- а) Виставки програмного забезпечення;
- б) Спеціалізовані брендові магазини;
- в) Форуми розробників програмного забезпечення;
- г) Свій варіант: _____

5. Як часто Ви використовуєте програми для моделювання чи проектування?

- а) Користуєтесь щодня;
- б) Користуєтесь до 5 разів на тиждень;
- в) Користуєтесь від 5 до 10 разів на місяць;
- г) Користуєтесь близько 10 – 15 разів на рік;
- д) Не користуєтесь зовсім.

6. Якими з перерахованих програм Ви мали досвід користування?

- а) «GS-Hydro»;
- б) «BIMLIB»;
- в) «3D-MICE»;
- г) Свій варіант: _____

7. Яка, на Вашу думку, має бути максимальна ціна на програму для проектування хімічних виробництв?

- а) вище 300 \$;
- б) 250 – 300 \$;
- в) 150 – 249 \$;
- г) 90 – 150 \$;
- д) 20 – 90 \$;
- е) 1 – 20 \$;
- ж) менше 1 \$;

8. Які основні функції повинні виконувати програми для проектування хімічних виробництв (виберіть 2-3 варіанти, що найважливіші саме для Вас)?

- а) Надавати можливість моделювати роботу обладнання;
- б) Дозволяти створення нових моделей обладнання;
- в) Надавати можливість створювати проекти виробництв;
- г) Містити детальну інформацію про обладнання, яке використано при створенні проекту;
- д) Надавати інформацію про магазини, в яких можна купити обране обладнання;
- е) Сповідати про кращі варіанти компонування обладнання;
- ж) Економити час на підбір необхідного обладнання;
- з) Містити кнопку автоматичного додавання усього необхідного обладнання для роботи обраного виробництва;
- и) Містити сповіщення про вихід нових версій програми.

9. Оцініть, будь ласка, за 5-ти бальною шкалою зручність користування програмами для проектування обладнання, якими Ви користувалися (5 – повністю задовольняє, 1 – повністю не задовольняє):

Додаток: _____ Оцінка: _____

Додаток: _____ Оцінка: _____

Додаток: _____ Оцінка: _____

Додаток: _____ Оцінка: _____

10. Ваш вік:

- а) до 15 років;
- б) 16-25 років;
- в) 26-35 років;
- г) 36-45 років;
- д) 46-60 років;
- е) від 61 років.

Дякуємо!

Зразок опитування для дослідження конкурентної ситуації на ринку

Зразок опитування для дослідження конкурентної ситуації на ринку
Створений розробниками комп'ютерної програми «3D-MICE»

1. Якими ключовими словами можна описати попередню конкурентну ситуацію на ринку?
 - а) жорстка;
 - б) помірна;
 - в) слабка;
 - г) немає конкуренції.
2. У якій фазі розвитку знаходиться Ваш ринок?
 - а) створення;
 - б) запровадження;
 - в) зростання;
 - г) зрілості;
 - д) занепаду (згортання);
3. Який попит на Вашому ринку?
 - а) великий;
 - б) середній;
 - в) малий;
4. Які із запропонованих базових стратегій охоплення ринку Ви використовуєте?
 - а) повне задоволення попиту на ринку;
 - б) концентрація продукту на ринку;

- в) спеціалізація продукту на ринку;
г) інший вид стратегії;
5. Скільки конкурентів Ви маєте на ринку?
а) конкурентів немає;
б) 1-5;
в) 5-10;
г) понад 10;
6. Які розміри підприємства у Ваших конкурентів?
а) дуже малі;
б) від малих до середніх фірм;
в) великі підприємства;
г) змішані;
7. Кого Ви розглядаєте в якості основного конкурента?

8. Яку частку на ринку мають у сукупності три найбільші конкурентні фірми?
Оцінка у відсотках: _____ %
9. Які особливі послуги пропонують найважливіші конкуренти своїм споживачам?
а) підвищена якість;
б) менша ціна;
в) особливості сервісних послуг і та ін.
10. У чому основні недоліки Ваших суперників?
