

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Факультет _____ хіміко-технологічний _____.

Кафедра _____ кібернетики хіміко-технологічних процесів _____.

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 6.050202" Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Т.В.Бойко

(підпис)

« » лютого 2016 р

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Захарчуку Юрію Миколайовичу

1. Тема проекту Комп'ютерний розрахунок процесу отримання ізопропілбензолу.

керівник проекту Квітка О.О., к.т.н., доц.

затверджені наказом по університету від « » _____.

2. Термін подання студентом проекту 07 червня 2016р

3. Вихідні дані до проекту _____

4. Зміст пояснювальної записки _____

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

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання _____ 2016

Календарний план

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

Студент _____

(підпис)

_____ Ю.М. Захарчук

Керівник проекту _____

(підпис)

_____ О.О. Квітка

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Факультет хіміко-технологічний

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

Т.В.Бойко

(підпис)

“ ___ ” червня 2016 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

на тему: Комп'ютерний розрахунок процесу отримання ізопропилбензолу

Виконав студент IV курсу, групи ХА-21

Захарчук Юрій Миколайович

Керівник доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Квітка О.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультанти:

з хімічної технології доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Безносик Ю.О. _____
(підпис)

з математичн. моделювання в.о.зав. каф. КХТП, к.т.н., Бойко Т.В. _____
(підпис)

з автоматизов. регулювання доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Бондаренко С.Г. _____
(підпис)

з охорони праці доцент каф. охорони праці, промислової та цивільної безпеки, к.т.н., доц. Полукаров Ю.О. _____
(підпис)

з організаційно-економічної частини доц. кафедри економіки і підприємництва, к.т.н. доц. Підлісна О.А. _____

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

Рецензент _____

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

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2016 рік

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень	7
ВСТУП.....	10
1 Технологічна схема отримання ізопропілбензолу.....	11
2 Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу отримання ізопропілбензолу	15
2.1 Теоретичні відомості	15
2.2 Розрахунок матеріальних балансів процесу.....	16
3 Автоматизований розрахунок трубчатого реактора.....	18
3.1 Технічне завдання на розробку обчислювального модуля.....	18
3.2 Математична модель процесу синтезу ізопропілбензолу.....	19
3.3 Структура і технічні характеристики обчислювального модуля.....	21
3.4 Інструкція користувачу програмного продукту	22
4 Автоматизація технологічної схеми виробництва ізопропілбензолу.....	25
4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми	25
4.2 Визначення параметрів автоматизації	26
4.3 Опис схеми автоматизації	26
5 Економіко – організаційні розрахунки процесу виробництва	31
5.1 Теоретичні відомості для техніко – економічного обґрунтування процесу виробництва ізопропілбензолу	32
5.2 Техніко – економічні показники виробництва ізопропілбензолу.....	36
6 Охорона праці.....	41
6.1 Виявлення та наліз НШВФ в умовах виконання експериментальної частини науково-дослідної роботи. Заходи з охорони праці	41
6.1.1 Повітря робочої зони	41
6.1.2 Виробниче освітлення	42
6.1.3 Захист від виробничого шуму й вібрацій.....	44
6.1.4 Електробезпека.....	44
6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання.....	45
6.2 Пожежна безпека.....	46
Висновки	48
Перелік посилань.....	49

Додатки.....	51
Додаток А.....	51
Додаток Б.....	52
Додаток В.....	53
Додаток Г.....	53

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 92 с., 19 рис., 26 табл., 4 додатки, 17 джерел.

Виконано технологічний проект процесу алкілування бензолу пропіленом з метою отримання ізопропілбензолу.

В проекті обґрунтовано норми технологічних режимів, наведена технологічна схема та опис процесу отримання ізопропілбензолу. З використанням програми ChemCad 6.3.1 виконано комп'ютерний розрахунок матеріального балансу схеми. В інтегрованому середовищі MS Visual Studio 2015 розроблено обчислювальний модуль на мові C++ для проектного розрахунку трубчатого реактора алкілування, визначено основні конструктивні параметри апарату і зміну концентрацій речовин в часі і по довжині апарату.

Запропоновано схему автоматизації процесу. Визначено основні джерела екологічної небезпеки виробництва ізопропілбензолу та методи запобігання викиду шкідливих речовин.

Проведено економічне обґрунтування розробки програмно-розрахункового модуля.

АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ, ІЗОПРОПІЛБЕНЗОЛ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТРУБЧАСТИЙ РЕАКТОР, КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК, КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 92 с., 19 рис., 26 табл., 4 приложения, 17 источников.

Выполнен технологический проект процесса алкилирования бензола пропиленом с целью получения изопропилбензола.

В проекте обоснованы нормы технологических режимов, приведена технологическая схема и описание процесса получения изопропилбензола. С помощью программы ChemCad 6.3.1 произведён компьютерный расчёт материального баланса схемы. В интегрированной среде MS Visual Studio 2015 разработан программный модуль на языке C++ для проектного расчёта трубчатого реактора, определены основные конструктивные параметры аппарата и изменение концентраций веществ во времени и по длине аппарата.

Предложено схему автоматизации процесса. Определены основные источники экологической опасности производства изопропилбензола и способы предотвращения выброса вредных веществ.

Произведено экономическое обоснование разработки программно-расчетного модуля.

АЛКИЛИРОВАНИЕ БЕНЗОЛА, ИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛ,
МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС, ТРУБЧАТЫЙ РЕАКТОР, КОМПЬЮТЕРНЫЙ
РАСЧЁТ, КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

SUMMARY

Explanatory note has 92 p., 19 fig., 29 tables., 4 appendixes, 17 recourses.

Technological project of the process alkylation of benzene by propylene is done with the purpose of getting isopropylbenzene.

The norms of technological regimes are justified; technical scheme of process of getting isopropylbenzene is presented with its description. Using program ChemCad 6.3.1 computer calculation of material balance is done. Calculation module for project calculation of tubular reactor is developed in MS Visual Studio 2015 C++. Program calculating main construction sizes of apparatus and find concentrations of substances in time and leight reactor.

Scheme of automation of the process is suggested. Identified the main sources of environmental hazard production of isopropylbenzene and ways to prevent harmful emissions.

Produced by the economic rationale for developing software-design module.

**ALKYLATION OF BENZENE, ISOPROPYLBENZENE, MATERIAL BALANCE,
TUBULAR REACTOR, COMPUTER CALCULATION, CONTROL AND
REGULATION, ECOLOGICAL SAFETY, ECONOMIC RATIONALE**

Перелік умовних позначень та скорочень

ІПБ – ізопропілбензол;

ДІПБ – диізопропілбензол;

МТБ – матеріально-тепловий баланс;

ХТС – хіміко-технологічна система;

T – температура, °К;

C_i – концентрація, Кмоль/м³;

F – витрата, м³/с;

D – діаметр, м;

L – довжина, м;

V – об'єм, м³;

W_{r_i} – швидкість протікання реакції по i -му компоненту;

t, c – час;

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

l – координата довжини реактора, м;

τ – час перебування в реакторі, с;

k_i – константи швидкості хімічної реакції;

R – радіус реактора, м;

НКК – низькокиплячий компонент;

НДР – науково-дослідна робота;

ГДК – гранично допустима концентрація;

C – собівартість;

ОФ – основні фонди;

А – амортизація основних фондів;

ОбК – обігові кошти;

H_a – норма амортизації;

Φ_{nn} – повна початкова вартість ОФ;

Ц – ціна на продукцію (послугу чи роботу);

П – прибуток;

Р – рентабельність;

T_{Π} – термін повернення капіталовкладень;

Е – коефіцієнт економічної ефективності;

ФВ – фондівдача виробничих фондів;

ФЄ – фондоємність;

ВСТУП

На сьогоднішній день в світі синтезована велика кількість органічних сполук, що відносяться до продуктів органічного та нафтохімічного синтезу, які мають цінні хімічні та фізико-хімічні властивості. Багато з них є цільовими продуктами, а інші напівпродуктами. Кожен із них в світі потребується десятками та сотнями тон в рік.

Алкілароматичні сполуки широко використовуються в хімії і хімічній технології для отримання полімерних матеріалів, поверхнево-активних речовин, високооктанових добавок до палива. Найбільше значення з алкілароматичних сполук мають етилбензол та ізопропілбензол.

В останні роки досить бистро розвивається виробництво кумолу, так як бензин, який містить цей компонент, придатний для авіадвигунів з високими степенями надуву. Кумол використовують для виробництва фенолу та його похідних: стиролу та α -метилстиролу, а також як добавку в авіаційне паливо для підвищення октанового числа. Тому на зараз досить актуальним є покращення якості виробництва цього продукту.

Ізопропілбензол $C_6H_5-C_3H_7$ (кумол, кумен) – ароматична органічна сполука, безбарвна горюча рідина. Його отримують алкілуванням бензолу пропіленом. Виробництво кумолу займає 7-8% використання промислового пропілену.

В процесі алкілування бензолу пропіленом утворюється побічний продукт діізопропілбензол. З діізопропілбензолу за допомогою процесу трансалкілування можна отримати ізопропілбензол.

В Україні на сьогоднішній день кумол не виробляють, так як для виробництва кумолу необхідні великі енергетичні затрати [1].

Сировиною для промислового виробництва ізопропілбензолу є бензол та пропілен.

Метою даного проекту є комп'ютерний розрахунок схеми виробництва ізопропілбензолу, алкілуванням бензолу пропіленом.

1 Технологічна схема отримання ізопропілбензолу

Промисловий процес алкілування бензолу пропіленом відбувається в реакторі алкілування, в якому утворюється ізопропілбензол.

Реакція утворення ізопропілбензолу:



В реакторі алкілування, окрім цільової реакції, протікає і побічна, в результаті якої утворюється діізопропілбензол за реакцією:



Дана реакція є менш ймовірною, але при алкілуванні в залежності від умов діізопропілбензол займає значну частину вихідного реакторного потоку. Діізопропілбензол в наслідок дезалкілування бензолом можливо перетворити на ізопропілбензол [2].

Основними стадіями процесу алкілування бензолу пропіленом є:

- 1) підготовка сировини (змішування бензолу з пропіленом);
- 2) безпосередньо алкілування в реакторі;
- 3) відділення домішок від кумолу.

Відділення домішок від кумолу здійснюється за допомогою ректифікаційних колон, в кожній з яких ми відділяємо домішки в залежності від їх фізичних властивостей, а саме температури кипіння. Так як на виробництво подається чистий бензол, а пропілен має до 10% домішок пропану, в першій ректифікаційній колоні виділяємо пропан, в другій ректифікаційній колоні виділяємо непрореагований бензол і повертаємо його рециклом до змішувача, третя колона розділяє кумол з діізопропілбензолом.

Загальний вигляд схеми алкілування бензолу пропіленом представлена на рис. 1.1 та рис. 1.2.

В схемі, пропілен, з домішками пропану до 10%, змішують з бензолом. Потім суміш нагрівають до 100 °С в теплообміннику 1, і подають в реактор алкілування 2. В реакторі внаслідок екзотермічної реакції алкілування піднімається температура, тому в сорочку реактора необхідно подавати воду для охолодження суміші, та підтримки температури 90 - 100 °С.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема отримання ізопропілбензолу

1, 3, 4, 7, 8, 11, 13 – теплообмінник; 2 – реактор; 5, 9, 14 – ректифікаційні колони; 6, 10, 15 – дефлегматори; 12 – насос

Після чого вихідний потік з реактора нагрівають до 150 °С в теплообміннику 3, і подають на вхід ректифікаційної колони 5. Температура в конденсаторі ректифікаційної колони 34 °С, тому пропан, що виходить зі схеми, має температуру 34 °С.

Вихідний потік суміші з ректифікаційної колони 5 має температуру близько 200 °С. Потік охолоджують до 90 °С в теплообміннику 7, і подають на вхід ректифікаційної колони 9, де відділяють бензол, що не прореагував в рецикл, та охолоджують його в теплообміннику 11 до температури 20 - 30 °С, після чого його нагнітають за допомогою насоса 12.

Рисунок 1.2 – Схема потоків технологічної схеми синтезу ізопропілбензолу:

I – бензол; II – пропілен з домішкою пропану; III – гаряча вода; IV – гріюча пара; V – холодна вода; VI – охолоджена пара; VII – пропан; VIII – бензол рецикл; IX – кумол; X – діізопропілбензол

Вихідний потік суміші має температуру менше 170 °С і його подають до ректифікаційної колони 14. В ректифікаційній колоні кумол відділяють від діізопропілбензолу. Температура потоку кумолу близько 100 °С, а діізопропілбензолу 150 - 160 °С. Остання ректифікаційна колона забезпечує чистоту кумолу в 99,9% [3].

Аналіз структури ХТС

Схема виробництва складається зі змішувача реактора і трьох ректифікаційних колон рис 1.1.

Схема має 1 рецикл, в який входить непрореагований бензол.

Рисунок 1.3 – Структурна схема ХТС отримання ізопропілбензолу

Вхідними потоками схеми є потоки: 1 – бензолу; 2 – пропілену з домішками пропану до 10% . Вихідними потоками схеми є потоки: 5 – пропану; 9 – кумолу та 10 – диізопропілбензолу.

Визначимо кількість речовини в кожному з потоків, та на основі цього визначимо параметричність потоків.

Таблиця 1.1 – Компоненти потоків та їх параметричність.

Розглянемо метод виділення комплексів на основі матриці суміжності:

$$C = AvA^2 vA^3 \dots A^{14}$$

Далі використовуємо логічне множення матриці C і C транспонованої:

$$D = C \& C'$$

Для розрахунків користуємося програмним пакетом MATLAB.

MATLAB - це досить простий засіб для роботи з математичними матрицями, побудови функцій, роботи з алгоритмами, створення робочих оболонок (user interfaces) з програмами в інших мовах програмування. Хоча цей продукт спеціалізується на чисельному обчисленні, спеціальні інструментальні засоби працюють з програмним забезпеченням Maple, що робить його повноцінною системою для роботи з алгеброю. MATLAB надає користувачеві велику кількість функцій для аналізу даних, які покривають майже всі області математики.

Спочатку знайдемо комплекси, для чого складемо матрицю суміжності:

Вирішимо задачу пошуку комплексів у ХТС, використовуючи алгоритм на основі зведення матриці A у степені в командному режимі Matlab.

Логічне множення матриць:

Аналізуючи отриману матрицю, бачимо один нульовий потік (5) і один комплекс:

Попередня послідовність розрахунку схеми:

Формуємо список суміжностей:

Рисунок 1.3– Прадерево комплексу

На прадереві контури визначимо за висячими вершинами:

Визначимо матриці контурів:

Аналізуючи параметричність потоків, розривати краще:

$$OPMD = \{4-1\}$$

$$PPRC = \{(1,2,3,4),5\}$$

Для знаходження оптимального порядку розрахунку системи розриваємо рецикл 7. Тоді розрахунок матеріальних балансів апаратів проводимо в наступному порядку [4]:

2 Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу отримання ізопропілбензолу

2.1 Теоретичні відомості

Метою функціонування будь – якої виробничої системи є отримання продуктів в необхідній кількості і необхідної якості при оптимальному використанні ресурсів. Для розв'язання цих задач використовують різні методи, в основі яких лежить матеріальний баланс, який зв'язує витрату сировини з кількістю отриманого продукту [4].

Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів передбачає визначення степенів свободи, розрахунок матеріальних та теплових балансів (МТБ), знаходження параметрів стану потоку в технологічній схемі: загальних і покомпонентних витрат, складу потоків, температур і ентальпій, аналіз можливості розв'язку задачі розрахунку МТБ технологічної схеми, розрахунок параметрів потоків технологічної схеми, визначення та розрахунок витратних коефіцієнтів з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв.

На стадії проектування комп'ютерний розрахунок МТБ дозволяє визначити кількісні характеристики функціонування системи: матеріальні і теплові навантаження, продуктивність елементів системи, масові витрати стічних вод і викидів шкідливих газів в атмосферу, масові витрати граючої пари і охолоджуючої води, кількості теплоти і енергії. МТБ і продуктивність апаратів схеми є вихідною інформацією для технологічного, конструктивного і техніко – економічного розрахунку елементів ХТС.

Розрахунок МТБ узагальнюють у вигляді таблиць, що складаються із приходу (вихідна сировина, яка задіяна в ході технологічного процесу або його стадії) і витрат (готова продукція, відходи виробництва, втрати) та таблиць теплового балансу, що містять прихід і витрати теплоти.

При складанні таблиць в основу розрахунку покладено закон збереження маси і енергії. Ліву частину рівняння матеріального балансу складає маса (масова

витрата) усіх видів сировини і матеріалів, що поступають на переробку $\sum G_{j,BX}$, а праву – маса продуктів, що покидають апарат $\sum G_{j,ВИХ}$, і виробничі втрати $\sum G_{ВТР}$:

$$\sum G_{j,BX} = \sum G_{j,ВИХ} + \sum G_{j,ВТР} \quad (2.1)$$

$$\sum G_{j,BX} = \sum G_{1,BX} + \dots + \sum G_{n,BX} \quad (2.2)$$

$$\sum G_{j,ВИХ} = \sum G_{1,ВИХ} + \dots + \sum G_{n,ВИХ} \quad (2.3)$$

де $G_{j,BX}$ – масова витрата j-го потоку, що надходить в апарат, кг/с;

$G_{j,ВИХ}$ – масова витрата j-го потоку, що виходить за апарату, кг/с.

В даному дипломному проєкті виконується розрахунок тільки матеріального балансу схеми, так як розрахунок теплового балансу не визначається умовами процесу [5] та завданням на проектування.

2.2 Розрахунок матеріальних балансів процесу

У даному розділі виконується комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу отримання ізопропілбензолу визначення загальних та покомпонентних витрат, складів потоків. Початкові дані до розрахунку матеріальних балансів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Початкові дані до розрахунку матеріальних балансів

Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів було виконано в програмі-симуляторі ChemCad 6.3.1. Розроблена схема наведена на рисунку 2.1.

Таблиця 2.2 – Перелік обладнання в середовищі ChemCAD

За допомогою вище наведеної схеми рис. 2.1, складеної в програмі-симуляторі, були розраховані матеріальні баланси отримання ізопропілбензолу, які можна представити наступним чином (табл. 2.3 – 2.8):

Таблиця 2.3 – Загальний матеріальний баланс по вхідним потокам (кг/год)

Таблиця 2.4 – Загальний матеріальний баланс по вихідним потокам (кг/год)

Таблиця 2.5 – Матеріальний баланс реактору (кг/год)

Таблиця 2.6 – Матеріальний баланс ректифікаційної колони відділення пропану (кг/год)

Таблиця 2.7 – Матеріальний баланс ректифікаційної колони відділення бензолу (кг/год)

Таблиця 2.8 – Матеріальний баланс ректифікаційної колони розділення ізопропілбензолу (кумолу) та діізопропілбензолу (кг/год)

При складанні матеріального балансу було враховано лише масообмінні апарати. На основі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що матеріальний баланс процесу виробництва ізопропілбензолу в середовищі ChemCad v. 6.3.1 розрахований вірно.

Звіт з даними по усіх потоках наведено в Додатку А.

3 Автоматизований розрахунок трубчатого реактора

3.1 Технічне завдання на розробку обчислювального модуля

Розрахунковий модуль призначений для комп'ютерного моделювання процесу синтезу ізопропилбензолу в трубчатому реакторі.

Вихідними даними для розрахунку є:

1. Початкова концентрація бензолу (кмоль/м³).
2. Початкова концентрація пропілену (кмоль/м³);
3. Константа швидкості реакції (м³/[кмоль*с]);
4. Максимальний час проведення реакції (с);
5. Об'ємний видаток суміші (м³/год.);
6. Діаметр апарату (м);
7. Крок інтегрування (м);

Вимоги до програмного модулю:

1. Наявність більше однієї форми для зручного представлення результатів;
2. Наявність полів для вводу даних користувачем;
3. Наявність довідки;
4. Програмний модуль повинен виводити отримані розрахунки на форму;
5. Можливість формування та збереження звіту за бажанням користувача;
6. Передбачити блокування кнопок, що не можуть виконати розрахунки без введення необхідних даних;
7. Наявність меню та панелі інструментів для зручнішої роботи в програмі.

Середовище для реалізації розрахункового модуля MS Visual Studio 2015.

3.2 Математична модель процесу синтезу ізопропилбензолу

Алкілування – хімічна реакція, внаслідок якої до органічного ядра приєднується алкіл (метил, етил, бутил пропіл та ін.). Реакцію алкілування зазвичай проводять при температурі 100 °С.

Цей процес здійснюється в реакторах різних конструкцій. В більшості випадків реакцію алкілування проводять в трубчастих реакторах. Такі реактори мають просту конструкцію, і є досить дешевими у виготовленні [3].

Основним апаратом схеми являється трубчастий реактор, в якому відбувається реакція утворення ізопропилбензолу (3.1):



Процес синтезу є екзотермічним, тобто характеризується значним виділення енергії, тому в сорочку реактора подають воду, яка охолоджує реактор до температури 100 °С, і як наслідок – стабілізує її. Тому можна зробити припущення що реактор працює в ізотермічному режимі [1].

Математичне моделювання трубчастого реактора отримання ізопропилбензолу проводиться з урахуванням наступних допущень:

- гідродинамічний режим в апараті – ідеальне витіснення;
- реакційна маса рухається уздовж осі потоку, витісняючи наступні шари;
- реакція відбувається на стаціонарному шарі каталізатора;
- реактор працює в ізотермічному режимі.

Процес синтезу ізопропилбензолу протікає у трубчастому реакторі в присутності каталізатора AlCl_3 при температурі 373 К та атмосферному тиску [6].

Рівняння кінетики процесу має наступний вигляд (3.2) [3]:

Початкові умови на вході до реактора при $t = 0$:

де t – час проведення реакції, с; C_{A0} , C_{B0} , C_{D0} – початкові концентрації компонентів на вході в реактор, л/(моль*с).

Константа швидкості реакції визначається за формулою (3.3) [3]:

Розв'язком даної системи диференціальних рівнянь буде значення концентрацій компонентів в залежності від часу перебування в реакторі (часу протікання реакції). Відповідно до технології бензол має бути в надлишку, тому

час перебування в реакторі визначається часом повного використання пропілену $C_B \rightarrow 0$ (рис. 3.1).

Рисунок 3.1 – Графік зміни концентрації за часом проведення реакції

Як видно з кінетики процесу, приблизний час проведення реакції становить: $\tau = 3000$ с.

Знаючи об'ємний видаток на вході в реактор та час проведення реакції, ми можемо визначити довжину реактора за формулами (3.4, 3.5):

де V – об'єм реактора, m^3 ; w – об'ємний видаток реактора на вході в реактор, m^3/c ; L – довжина реактора, м; r – радіус робочої частини реактора, який визначається за формулою $r = d/2$, м; d – діаметр робочої частини реактора, вибраний із стандартних розмірів, м.

Так як реактор алкілування являється трубчатим реактором, що працює в ізотермічному режимі, тому найкращою моделлю є модель ідеального витіснення.

Для реактора ідеального витіснення приймемо наступні припущення [6]:

1. Довжина реактора набагато більша за діаметр;
2. Кожна частинка потоку рухається тільки в одному напрямі по довжині реактору, зворотне перемішування відсутнє;
3. Відсутнє поперечне перемішування;
4. Розподіл речовин в поперечному перерізі рівномірний;
5. Кожен елемент елементарного об'єму dV рухається по довжині реактору і поводить себе як поршень в циліндрі.

В реакторі ідеального витіснення приймається припущення, що реакційна суміш рухається наче поршень без змішування вздовж потоку при рівномірному розподілі реакційної маси у напрямку перпендикулярному рухові. Час перебування в реакторі усіх часток однаковий і дорівнює відношенню об'єму реактору ідеального витіснення до об'ємної витрати газу або рідини [2].

Рівняння матеріального балансу для реактора ідеального витіснення в загальному випадку має вигляд (3.6):

де W_{r_i} – швидкість протікання реакції по i -му компоненту; C_i – концентрація i -го компонента, л/(моль*с); t – час проведення реакції, с; U – середня лінійна швидкість потоку в реакторі ідеального витіснення, м/с; l – координата довжини реактора, м.

Так як реакція відбувається при постійній температурі, і як наслідок швидкість реакції не змінюється в часі, ми можемо використати статичний режим в моделі ідеального витіснення (3.7) [1]:

У статичному ізотермічному режимі процес у реакторі ідеального витіснення достатньо описати тільки рівнянням покомпонентного матеріального балансу. Тому для реактора синтезу ізопропилбензолу математична модель матиме вигляд (3.8):

При початкових умовах:

Розв'язком математичної моделі трубчатого реактора ідеального витіснення буде значення концентрацій компонентів в залежності від довжини реактора (рис. 3.2).

Рисунок 3.2 – Графік зміни концентрації за часом проведення реакцій

Розрахунки проводилося в програмі MathCad, і показані в додатку А.

Для зручнішого представлення даних розрахунку був розроблений програмний модуль на мові C++ в середовищі MS Visual Studio 2015, який обраховує основні параметри трубчатого реактора за математичною моделлю вказаною вище.

3.3 Структура і технічні характеристики обчислювального модуля

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

Структура обчислювального модуля:

- Файли форм – MyForm1.h – MyForm3.h
- Файл проекту – Project1

Призначення основних елементів модуля наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні елементи обчислювального модуля

Схема взаємодії форм представлена на рисунку 3.3.

Рисунок 3.3 – Схема взаємодії між формами програмного модуля

Розроблений програмний модуль складається з наступних процедур обробки подій, що наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2– Процедури обчислювального модуля та їх призначення

Даний програмний модуль можна використовувати для перевірки розрахунку будь-якого ізотермічного трубчатого РІВ, для якого відомі початкові концентрації вхідних речовин, константи швидкості реакцій, час перебігу реакції в реакторі, та схема реакції якого відповідає розглянутій.

Код розробленого програмного модуля наведений в Додатку В.

3.4 Інструкція користувачу програмного продукту

Програмний модуль призначений для розрахунку трубчатого реактора, що працює в ізотермічному режимі та при постійному тиску та температурі, призначений для моделювання перебігу процесу алкілування бензолу пропіленом з утворенням ізопропілбензолу.

Графічний інтерфейс користувача, який відкривається при завантаженні програми наведено на рисунку 3.4.

Вкладка «Загальна інформація» містить загальні дані про речовину «ізопропілбензол», малюнок молекули кумолу, та дані про розробника програми.

Вкладка «Схема в ChemCad», містить технологічну схему виробництва ізопропілбензолу, побудовану в програмі ChemCad (Рис. 3.5).

Вкладка «Дані для введення» містить поля для введення інформації (рис. 3.6). Для роботи програми потрібно ввести наступні дані:

- початкові концентрації бензолу та пропілену, $\text{кмоль}/\text{м}^3$;
- константа швидкості реакції, $\text{м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{с})$;
- максимальний час проведення реакції (для кінетики), (с);
- Об'ємний видаток суміші на вході в реактор $\text{м}^3/\text{год}$.
- Час перебування суміші в реакторі, с;

- Діаметр труби реактору, м;
- Крок інтегрування, м.

Рисунок 3.4 – Головне вікно програми

Рисунок 3.5 – Технологічна схему виробництва ізопропілбензолу

Рисунок 3.6 – Вкладка «Дані для введення»

Для виконання розрахунків, після вводу необхідних даних в останню вкладку, слід натиснути на кнопку «Запустити розрахунок», або натиснути відповідний пункт меню в головному меню програми або на панелі інструментів. Після чого розраховані результати будуть виведені на форму в поле справа (рис. 3.7).

Рисунок 3.7 – Результати розрахунку програми

Виконавши розрахунки, програма побудує графік залежності концентрацій речовин, що беруть участь у реакції від часу проведення реакції (вкладка «Кінетика процесу»), та від довжини трубчатого реактора (вкладка «Розподіл концентрацій речовин в реакторі») (Рис. 3.8, 3.9).

Рисунок 3.8. – Графік залежності концентрацій речовин від часу

Рисунок 3.9. – Графік залежності концентрацій речовин від довжини реактора

Для отримання допоміжної інформації про процес, що моделюється, необхідно звернутися до довідки за допомогою меню «Довідка» або кнопки «Довідка» на панелі інструментів (Рис. 3.10).

Рисунок 3.10 – Вікно довідки

За допомогою пункту меню «Зберегти», можна зберегти отримані результати розрахунків в «xml» файл, або сформувавши звіт про роботу програми, натиснувши відповідну кнопку. Після цього програма відкриє вікно, де потрібно сказати місце і назву файлу для збереження (рис 3.11).

Також програма має додаткову можливість зберігати таблицю з розрахованими даними по залежності концентрації речовин від довжини реактора в формат «.xml» для подальшої обробки інформації в програмі MS Excel. Для цього потрібно натиснути відповідний пункт головного меню програми «Зберегти дані розрахунків», який зображений на рисунку 3.12.

Рисунок 3.11 – Вікно збереження звіту з роботи програми

Рисунок 3.12 – Варіанти збереження інформації в програмі

Приклад оформлення звіту показаний на рисунку 3.13.

Також для більш зручного користування в програмі призначена функція, що очищає всі текстові поля для вводу даних для комфортнішого редагування, а також в програмі передбачено подія, для введення стандартних значень в поля вводу інформації в випадку коли користувачу необхідно обрахувати процес алкілування бензолу. Ці дві кнопки зображені на рисунку 3.14.

Отже, за результатами розробленого програмного модуля було виконано перевірочний розрахунок трубчатої колони для синтезу ізопропилбензолу при ізотермічному режимі та постійному тиску.

Рисунок 3.13 – Звіт з отриманими результатами розрахунку

Рисунок 3.14 – Кнопки для редагування введених даних в програмі

За для якісного та безпечного протікання процесу, потрібно контролювати та регулювати параметри, при яких він протікає. Виходячи з того, що процес протікає при постійній температурі, яку необхідно підтримувати, є доцільним автоматизувати дане виробництво. Приклад схеми автоматизації приведений в наступному розділі.

4 Автоматизація технологічної схеми виробництва ізопропилбензолу

4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми

Розробка системи автоматизації виробництва є одним із найважливіших етапів його проектування, оскільки забезпечує контроль за якістю продукції, раціональним використанням сировини та енергії, дозволяє мінімізувати використання ручної праці на небезпечних об'єктах. Це особливо актуально для хімічних виробництв, які найчастіше використовують вогне – і вибухонебезпечні речовини, працюють в умовах підвищеної екологічної небезпеки і потребують значних затрат енергії.

Оскільки в процесі виробництва ізопропилбензолу присутня хімічно небезпечна речовина – пропан, а сам процес потребує значних матеріальних і енергетичних затрат, то для надійної та вигідної експлуатації обладнання, підтримки оптимальних технологічних параметрів, раціонального використання обладнання розробка і впровадження системи автоматизації є надзвичайно важливою.

Завдання технологічного процесу полягає в отриманні заданого виходу кінцевого продукту – ізопропилбензолу. Аналіз технологічної схеми показав, що для забезпечення виходу продукту необхідної якості, в необхідній кількості та протікання процесу за технічним регламентом необхідно регулювати та контролювати наступні параметри:

- температуру в реакторі, трубопроводах, та в верхніх і нижніх частинах ректифікаційних колон;
- витрату вихідних речовин, води та пару;
- співвідношення витрат бензолу і пропілену (8:3.5);
- рівень в кубовій частині ректифікаційних колон;
- концентрацію пропану у виробничому цеху.

Аналіз технологічної схеми показав, що головними напрямками автоматизації є контроль за вхідними параметрами (витрата, температура бензолу і пропілену), підтримка робочого рівня в ректифікаційних колонах, контроль за вихідними параметрами (витрата та температура пропану, бензолу,

ізопропилбензолу та діізопропилбензолу), а також засоби відсікання при аварійних ситуаціях.

На підставі аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва, обрано об'єкти автоматизації, обрано регульовані і регулюючі параметри, визначено параметри контролю, реєстрації та регулювання. Для обраних параметрів було визначено необхідну точність вимірювання і регулювання (норми технологічного режиму) та діапазони їх можливої зміни.

4.2 Визначення параметрів автоматизації

Для безпечної роботи схеми, підтримання робочих параметрів, отримання цільового продукту і попередження аварійної ситуації було обрано наступні параметри регулювання, які наведені у таблиці 1.

Таблиця 4.1 – Параметри регулювання та контролю виробництва

На основі даних, наведених в таблиці 4.1, розроблена схема автоматизації процесу отримання аніліну включає в себе одинадцять контурів контролю та регулювання температури, дванадцять контурів контролю та регулювання витрати, один контур контролю та регулювання співвідношення витрат, три контури контролю витрати, три контури контролю та регулювання рівня, та один контур сигналізації.

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

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

Засоби автоматизації вибрані по [7-9] та зведені в специфікації (Додаток Г).

4.3 Опис схеми автоматизації

Контроль та регулювання температури

В якості вимірювальних приладів температури було обрано термоелектричні перетворювачі опору марки ТСПУ-0289 (поз. 5а, 6а, 7а, 8а, 11а, 15а, 16а, 19а, 21а, 24а та 27а) з діапазоном вимірювання температури від -200 до 600°С, що призначенні для вимірювання температури у рідких, газоподібних та сипучих речовинах шляхом перетворення опору в уніфікований сигнал 4-20 мА. Далі сигнал подається на електричний ПІД-регулятор марки МТМ 620 (поз. 5б, 6б, 7б, 8б, 11б, 15б, 16б, 19б, 21б, 24б та 27б), який видає регулюючий вплив на виконавчий механізм марки МЕО-40/10 (поз. 5в, 6в, 7в, 15в та 21в), або посилає корегуючий сигнал на регулятор керування витратою МЕО-40/10 (поз. 9в, 12в, 17в, 20в, 25в та 28в), який:

- у контурі 5: змінює подачу гріючої водяної пари в теплообмінник 2, тим самим регулює температуру вхідної суміші в реактор;
- у контурі 6: змінює подачу охолоджуючої води в сорочку реактора, тим самим регулює температуру речовини в середині реактора;
- у контурі 7: змінює подачу гріючої водяної пари в теплообмінник 4, тим самим регулює температуру суміші на вході в ректифікаційну колону 5;
- у контурі 8: змінює подачу гріючої водяної пари в теплообмінник 7, тим самим регулює температуру в нижній частині ректифікаційної колони 5;
- у контурі 11: змінює подачу холодної води, тим самим регулює температуру пропану на виході з колони, та температуру в верхній частині ректифікаційної колони 5;
- у контурі 15: змінює подачу гріючої водяної пари в теплообмінник 8, тим самим регулює температуру суміші на вході в ректифікаційну колону 9;
- у контурі 16: змінює подачу гріючої водяної пари в теплообмінник 11, тим самим регулює температуру в нижній частині ректифікаційної колони 9;
- у контурі 19: змінює подачу холодної води, тим самим регулює температуру бензолу на виході з колони, та температуру в верхній частині ректифікаційної колони 9;
- у контурі 21: змінює подачу холодної води, тим самим регулює та стабілізує температуру бензолу на виході з колони 9;

- у контурі 24: змінює подачу гріючої водяної пари в теплообмінник 14, тим самим регулює температуру в нижній частині ректифікаційної колони 13;
- у контурі 27: змінює подачу холодної води, тим самим регулює температуру ізопропилбензолу на виході з колони, та температуру в верхній частині ректифікаційної колони 13;

Контроль та регулювання витрати

Для контролю та регулювання витрати використовується звужуючий пристрій – діафрагма (поз. 1а, 2а, 3а, 4а, 9а, 10а, 12а, 14а, 17а, 18а, 20а, 23а, 25а, 26а, 28а, 30а, 31а, 32а та поз. 33а), виготовлена зі сталі марки 12Х18Н10Т, а саме:

- в контурах: 10, 28, 30 та 32 – діафрагма камерна ДКС 0,6-100 з діаметром умовного проходу 100 мм;
- в контурах: 1, 2, 4, 12, та 20 – діафрагма камерна ДКС 0,6-150 з діаметром умовного проходу 150 мм;
- в контурах: 3, 18, 23, 26, та 33 – діафрагма камерна ДКС 0,6-175 з діаметром умовного проходу 175 мм;
- в контурах: 14 та 31 – діафрагма камерна ДКС 0,6-250 з діаметром умовного проходу 250 мм;
- в контурах: 9, 17 та 25 – діафрагма камерна ДКС 0,6-350 з діаметром умовного проходу 350 мм;

З витратоміра сигнал поступає на дифманометр мембранний безшкальний ДМ-3583 М (поз. 1б, 2б, 3б, 4б, 9б, 10б, 12б, 14б, 17б, 18б, 20б, 23б, 25б, 26б, 28б, 30б, 31б, 32б та 33б), вихідний сигнал якого є вхідним на прилад контролю та регулювання витрати РП 120 - 30 (поз. 1в, 4в, 9в, 10в, 12в, 14в, 17в, 18в, 20в, 23в, 25в, 26в, 28в та поз. 30в), після чого сигнал подається на виконавчий механізм МЕО-40/10 (поз. 4г, 9г, 10г, 12г, 14г, 17г, 18г, 20г, 23г, 25г, 26г, 28г та поз. 30г).

В контурах регулювання 2 і 3, сигнал з дифманометра поступає на суматор МС-II EXP (поз. 5в). На виході із суматора сигнал разом із сигналом із регулятора РП 120 - 30 (поз. 1в), потрапляє в регулятор співвідношення УЗОР-01С (поз. 1г),

після чого контролюючий сигнал подається на виконавчий механізм МЕО-40/10 (поз. 1д).

В результаті виконавчий механізм:

- в контурах: 1, 2 та 3 – регулює співвідношення бензолу та пропілену в суміші 8:3.5 на вході в реактор регулюванням витрати потоку бензолу зі складу;
- в контурі 4: регулює та стабілізує витрату потоку пропілену зі складу;
- в контурах 5, 7, 8, 17 та 25 – регулює та стабілізує витрату гріючого пару в теплообмінниках 2, 4, 7, 11 та 14 відповідно.
- в контурах 10, 18 та 26 – регулює та стабілізує витрату флегми верхній частині ректифікаційних колон 5, 9 та 12 відповідно.
- в контурах 12, 20, та 28 – регулює та стабілізує витрату холодної води в теплообмінниках 6, 10 та 13 відповідно.
- в контурах 14, 23, та 20 – регулює та стабілізує витрату кубового залишку з ректифікаційних колон теплообмінниках 5, 9 та 12 відповідно.

В контурах регулювання 31, 32 та 33, сигнал з дифманометра (поз. 31б, 32б та 33б) поступає на показуючий автоматичний прилад РП 120 – 20 (поз. 31в, 32в та 33в), який дозволяє контролювати витрату суміші на виході зі змішувача 1, пропану на виході з ректифікаційної колони 5, та ізопропилбензолу на виході із ректифікаційної колони 12.

Контроль та регулювання рівня

Для контролю та регулювання рівня в ректифікаційних колонах 5 9 та 12, на схемі встановлений комплект регулювання рівня САУ-М6 (поз. 13а, 22а, 29а, 13б, 22б та 29б), який включає в себе кондуктометричний датчик та електронний регулятор рівня рідини ЕРСУ-3. Даний комплект призначений для регулювання та підтримки в заданих межах рівня рідини в колонах. При занадто великій зміні рівня рідини в колонах прилад подає сигнал на регулятор витрати РП 120 - 30 (поз. 14в, 23в та 30в), який в свою чергу регулює витрату кубового залишку, і як наслідок стабілізацію рівня рідини в колонах.

Сигналізація концентрації

Для сигналізації про перевищення гранично допустимої норми вибухонебезпечного пропану, розроблено контур сигналізації 34, до якого входять: датчик GS133 (розташований на підлозі цеху), підсилювач сигналу, реєстратор та сигналізація. Датчик через кожні 2 секунди передає сигнал на канал і в разі, якщо концентрація пропану в повітрі перевищує 2%, прилад видає світловий та звуковий сигнали.

Розроблена схема автоматизації забезпечує проведення процесу отримання ізопропилбензолу в регламентованому режимі.

5 Економіко – організаційні розрахунки процесу виробництва

Процес синтезу органічних речовин є досить поширеним в хімічній технології багатьох виробництв. У даному дипломному проекті розглядається підприємство, що спеціалізується на виготовленні ізопропілбензолу.

В Україні на сьогоднішній день кумол не виробляють, так як для виробництва кумолу необхідні великі енергетичні затрати [11].

Сировиною для промислового ізопропілбензолу є бензол та пропілен.

Технологічний процес виробництва ізопропілбензолу заснований на процесі алкілування бензолу пропіленом в діапазоні температур 90-100 °С та за тиску 1.03 МПа. Синтез ізопропілбензолу здійснюється в трубчатому реакторі. Отриманий ізопропілбензол з домішками піддається подальшій ректифікації для відділення пропану, та диізопропілбензолу як відходу, та бензолу, що залишається у надлишку. Бензол що відділяється подається на рецикл для повторного використання. На виході з реактору ми отримуємо продукт – ізопропілбензол з чистотою продукту в 99,9% [1].

Одним з найважливіших показників діяльності підприємства є собівартість продукції, яка комплексно характеризує ступінь використання усіх ресурсів, рівень технічного розвитку виробництва, досконалість системи управління та значною мірою визначає кінцеві результати діяльності підприємства – прибуток і рентабельність [12].

Метою проведення економіко – організаційного обґрунтування процесу синтезу ізопропілбензолу є розрахунок його основних техніко – економічних показників, за якими можна буде зробити висновки щодо доцільності існування підприємства, що займається виготовленням даної продукції.

5.1 Теоретичні відомості для техніко – економічного обґрунтування процесу виробництва ізопропилбензолу

Виробничий процес – єдність живої праці, засобів праці, предметів праці, зосереджених у просторі і часі для виготовлення продукції або виконання робіт.

Види виробничих процесів:

1. основні – пов'язані з виготовленням готової продукції, яка формує призначення підприємства;
2. допоміжні – пов'язані для заготівлі або одержання комплектуючих для обслуговування виробництва (складування, транспортування);
3. бічні – виробництво продукції з відходів основного виробництва;
4. підсобні – не мають безпосереднього відношення до виробництва продукції, обслуговують допоміжні.

Предмет праці – сировина, матеріали, які підлягають обробці. Предмети праці входять до складу оборотних засобів.

Виробничий процес – це період часу, необхідний для випуску готової продукції.

Основні засоби (ОЗ) – це засоби праці, що неодноразово беруть участь у виробничому процесі, не змінюючи при цьому своєї первинної форми. Їх вартість переноситься на вартість готової продукції частинами в міру зношення шляхом амортизаційних відрахувань.

До основних засобів належать:

- будівлі і споруди;
- машини і обладнання;
- транспорт;
- виробничий і господарський інвентар (вартістю понад 2500 грн. та терміном служби більше 1 року);
- нематеріальні активи (права, ліцензії, сертифікати).

Основні засоби поділяються на пасивні і активні:

1. активні – безпосередньо впливають на предмет праці (машини і обладнання, інструменти та засоби, вимірювальна та обчислювальна техніка);
2. пасивні – засоби, які безпосередньо не впливають на предмет праці, але є необхідними для виробничого процесу (будівлі та споруди, силове устаткування, транспортні засоби, інвентар).

Грошова оцінка основних засобів характеризується чотирма вартостями:

1. повна початкова вартість ($\Phi_{\text{пп}}$) – вартість придбання або створення основних засобів з урахуванням гуртової ціни, витрат на доставку, витрати на монтаж, установку, тобто всі витрати до моменту запуску основних засобів у виробництво:

$$\Phi_{\text{пп}} = \text{Ц}_{\text{придб}} + \text{Ц}_{\text{транс}} + \text{Ц}_{\text{уст}};$$

2. відновлювальна вартість ($\Phi_{\text{відн}}$) – вартість, яку необхідно додати на момент переоцінки основних засобів для відновлення їх до початкового робочого стану;
3. залишкова вартість ($\Phi_{\text{зал}}$) – різниця між $\Phi_{\text{пп}}$ та нарахованим зносом основних засобів:

$$\Phi_{\text{зал}} = \Phi_{\text{пп}} - \text{Знос};$$

4. ліквідаційна вартість ($\Phi_{\text{лікв}}$) – сума грошей або інших активів, яку підприємство очікує отримати від реалізації (ліквідації) ОЗ після закінчення терміну їх експлуатації.

Калькуляція – документ, який дозволяє систематизувати витрати на виробництво одиниці продукції і визначити її собівартість. Це спосіб групування витрат і визначення собівартості, придбання матеріальних цінностей, виготовлення продукції або виконання робіт на конкретному підприємстві, у конкретних умовах.

Кошторис – документ для систематизації витрат і розрахунку собівартості робіт.

Амортизація — це економічний процес, що кількісно відображає втрату основними засобами своєї вартості, яка амортизується, та її систематичний

розподіл (перенесення) на заново створений продукт (виконану роботу, надану послугу) протягом періоду їх корисного використання.

$$A = \frac{\Phi_{\text{ит}} + K - \Phi_{\text{лікв}} + P}{T_{\text{експлуат}}}, \quad (5.1)$$

де K – витрати на капремонт за час $T_{\text{експлуат}}$ – термін експлуатації; P – вартість ліквідації ОЗ.

Норма амортизації — відсоткове відношення часткової суми амортизації до повної початкової амортизації.

Собівартість – це всі витрати на виробництво і реалізацію товару (послуги або виконання роботи) в грошовому вигляді. Розраховується за наступною формулою:

$$C = A + \text{ОбЗ} \quad (5.2)$$

де A – амортизація основних засобів, ОбЗ – оборотні засоби

Норма амортизації– це відсоток амортизаційних відрахувань від балансової вартості основних засобів.

Окрім ОЗ кожне підприємство обов'язково повинно мати оборотні засоби або оборотний капітал. Оборотний капітал – це фінансові ресурси, вкладені в об'єкти, використання яких здійснюється підприємством протягом одного виробничого циклу.

Оборотні засоби – це зазначені об'єкти. Оборотний капітал, що вкладається у виробництво і реалізацію продукції, споживається повністю і відтворюється відразу після завершення виробничого циклу через реалізацію товару.

До основних техніко – економічних показників належать:

- випуск продукції;
- фондвіддача ОЗ — це відношення обсягу виробленої продукції підприємства до середньорічної вартості ОЗ, що показує, який обсяг виробленої продукції припадає на 1 грн.. вартості ОЗ, тобто:

$$\Phi_B = \frac{B}{C_{\text{сеп}}} \quad (5.3)$$

де V - запланований випуск продукції за певний період; $C_{сер}$ - середньорічна вартість ОЗ;

- фондомісткість ОЗ — це показник, обернений до фондovіддачі. Він показує, яка вартість ОЗ припадає на 1 грн.. виробленої продукції, тобто:

$$\Phi_M = \frac{1}{\Phi_B} \quad (5.4)$$

- капіталовкладення:

$$K = OЗ + OбЗ \quad (5.5)$$

- собівартість продукції — це вираження у грошовій формі поточних витрат підприємства на підготовку виробництва продукції, її виготовлення і збут.

Для забезпечення беззбиткової виробничо - господарської діяльності підприємства ці витрати повинні відшкодовуватись за рахунок виручки від продажу виготовленої продукції.

Собівартість продукції відображає рівень витрат підприємства на її виробництво і комплексно характеризує ефективність використання ним ресурсів, організаційний і технічний рівень виробничого процесу, рівень продуктивності праці.

$$C = A + Z_{сир.} + \Phi OП + Z_{електр.} \quad (5.6)$$

де A - амортизаційні відрахування; $Z_{сир.}$, $Z_{електр.}$ - витрати на сировину, обладнання та електроенергію відповідно;

$\Phi OП$ - фонд оплати праці:

$$\Phi OП = ЗП + Нарахування \quad (5.7)$$

де $ЗП$ - заробітня плата — ціна, що сплачується за використану працю, грошова вартість робочої сили;

Нарахування - сума коштів, яку підприємство обов'язково сплачує до державних засобів соціального захисту (37%) [10].

- ціна;

- прибуток — абсолютна величина, що характеризує доцільність існування підприємства:

$$П = Ц - С \quad (5.8)$$

- рентабельність — показник ефективності роботи підприємства, характеризує ефективність повернення вкладених коштів.

$$P = \frac{П}{С} \cdot 100\% \quad (5.9)$$

- економічна ефективність:

$$E = \frac{П}{К} \quad (5.10)$$

- період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{1}{E} \quad (5.11)$$

5.2 Техніко – економічні показники виробництва ізопропілбензолу

Розрахунок економічної ефективності збільшення продуктивності установки

Технологічні розрахунки показали, що модернізація виробництва (і як наслідок підвищення продуктивності з 2,4 т/год. до 2,5 т/год.) можливе на встановленому в даний час обладнанні, проте потребує залучення додаткових коштів та робочих сил для процесу модернізації [12].

Річний фонд календарного часу: 365 днів або:

Регламентом передбачено 15 днів або 360 годин зупинки на капітальний ремонт.

Ефективний фонд часу роботи установки:

Продуктивність цеху на даний момент становить 2,4 т/год. ізопропілбензолу або:

Проектом передбачається атоматизація і стабілізація виробництва, і як наслідок збільшення продуктивності і доведення її до 2,5 т/год., або:

Продуктивність цеху за зміну:

Добова продуктивність:

Місячна продуктивність:

Результати розрахунку продуктивності установки зведені в таблиці 5.1.
Таблиця 5.1 – Продуктивність установки.

Оцінка одноразових і поточних витрат (витрат виробництва)

Під поточними витратами (витратами виробництва) розуміється сума витрат на сировину, основні і допоміжні матеріали (реагенти, каталізатори, адсорбенти, абсорбенти й т.п.), напівфабрикати, паливо і всі види енергетичних витрат, заробітна плата з нарахуваннями, амортизація, витрати на ремонт обладнання, загальнозаводські та цехові витрати.

Розрахунок амортизаційних відрахувань.

Основні фонди - засоби виробництва, неодноразово беруть участь у процесі виробництва, які переносять свою вартість на продукцію не відразу, а поступово.

Основні фонди цеху (Очищення бензолу та отримання кумолу) наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок амортизаційних відрахувань.

Так як планується технічне переозброєння цеху, і наявне технологічне обладнання, згідно з розрахунками, володіє необхідними і достатніми резервами для модернізації і як наслідок збільшення продуктивності.

Модернізація за підрахунками буде коштувати:

- Обладнання: 350 000 грн.;
- Встановлення обладнання: 100 000 грн.;
- Перекваліфікація персоналу: 50 000грн.;
- Разом: 500 000 грн.
- Норма амортизації: 10%.

Тому після модернізації:

- Балансова вартість:
- Річні амортизаційні відрахування:

Вартість основних фондів припадають на 1 т ІПБ:

- До модернізації:

- Після модернізації:

Розрахунок фонду заробітної плати

Згідно з відомими нормами технічного проектування режим роботи працівника в умовах безперервного робочого тижня характеризується 6-ти годинною робочою зміною, та 36 годинним робочим тижнем, оскільки в цеху шкідливі умови праці [10].

Отже вирахуємо кількість змін для нормальної роботи цеху: $24 \cdot 7 / 36 = 4,66$.

Отже для нормальної роботи цеху нам потрібно 5 змін. Цех працює безперервно у чотири зміни. Графік змін на підприємстві:

1-а зміна: 6.00-12.00; 2-а зміна: 12.00 -18.00;

3-я зміна: 18.00- 00.00; 4-а зміна: 00.00- 6.00.

До модернізації у цеху працювало 30 осіб. Явочна чисельність персоналу становила: $Ч_{\text{яв}} = 24$ осіб.. Після модернізації в цеху можна скоротити 1 лаборанта, так як весь процес буде виконуватися автоматизованою системою, і 1-го лаборанта для роботи буде достатньо. Тобто, у цеху працюватиме 25 осіб. Явочна чисельність персоналу становитиме: $Ч_{\text{яв}} = 20$ осіб.

Для забезпечення безперервності виробництва необхідно 5 бригад. Складемо графік змінності (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 - Графік змінності основних виробничих працівників

Перелік осіб, що працюють в даному відділенні наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Персонал цеху синтезу кумолу

Розрахунок фонду заробітної плати основних виробничих робітників представлена в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Фонд заробітної плати

Фонд оплати праці за рік становить:

- до модернізації:
- після модернізації:

Затрати на сировини на випуск продукції наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Розрахунок вартості сировини для виробництва кумолу

Після модернізації – процеси, що відбувалися в реакторі стабілізувалися, і як наслідок підвищилася продуктивність виробництва, але затрати на сировину не змінилися. Через те, що температура в реакторі не буде коливатися в діапазоні від 90 до 100 °С, а буде триматися біля відмітки 100 °С в діапазоні ± 1 °С – то затрати на охолодження реактора впали не дивлячись на зростання продуктивності реактора.

Витрати на електроенергію

Розрахуємо витрати на електроенергію згідно одноставкового нерегульованого тарифу для підприємства, тобто 1,50 грн /кВт год.

До модернізації, потужність обладнання: $N_{об.} = 60$ кВт/т; Освітлення цілодобове: $N_{ос.} = 30$ кВт/добу. Підприємство працює цілодобово 365 днів на рік. Річні витрати на електроенергію до модернізації:

Після модернізації, потужність обладнання складає: $N_{об.} = 65$ кВт/т. Річні витрати на електроенергію після модернізації:

Витрати на опалення цеху. Загальна площа: 1500 м²; місячна тарифна ставка на опалення: 10 грн./м²; Сезон опалення: 6 місяців

Вартість оборотних фондів приведено у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Оборотні фонди(ОбФ) підприємства

До модернізації собівартість становить:

Собівартість однієї тони продукції становить:

Після модернізації:

Собівартість становить:

Собівартість однієї тони продукції становить:

Середня ринкова ціна кумолу: 22806 грн/т

До модернізації. Прибуток за рік:

Після модернізації. Прибуток за рік:

До модернізації. Рентабельність підприємства:

Після модернізації. Рентабельність підприємства:

До модернізації. Капіталовкладення:

Після модернізації. Капіталовкладення:

До модернізації. Ефективність підприємства:

Після модернізації. Ефективність підприємства:

До модернізації. Період повернення капіталовкладень:

Після модернізації. Період повернення капіталовкладень:

До модернізації. Фондовіддача:

Після модернізації. Фондовіддача:

До модернізації. Фондоємність:

Після модернізації. Фондоємність:

До модернізації. Фондоозброєність:

Після модернізації. Фондоозброєність:

Техніко-економічні показники записані в Таблиці 5.8

Таблиця 5.8 Техніко-економічні показники підприємства

Як видно із техніко-економічних показників підприємства виробництва ізопропилбензолу, модернізація є економічно вигідна підприємству.

6 Охорона праці

Технологічний об'єкт, що розглядається – виробництво ізопропілбензолу, містить в обігу шкідливі, вибухонебезпечні речовини. Також в даному об'єкті передбачено використання електроенергії та теплової енергії. Технічні рішення в проекті прийняті з урахуванням вимог охорони праці та пожежної безпеки виробництва [13, 14].

В даному розділі на підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, виявлених на проєктованому об'єкті, розроблені заходи, направлені на створення здорових і безпечних умов праці та пожежної безпеки.

6.1 Виявлення та наліз НШВФ в умовах виконання експериментальної частини науково-дослідної роботи. Заходи з охорони праці

6.1.1 Повітря робочої зони

Роботи, що виконувались в цеху за важкістю відносяться до категорії Па [1]. Санітарні та фактичні норми параметрів мікроклімату для робіт, які виконуються в приміщенні, наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату цеху

З метою забезпечення нормативних рівнів параметрів мікроклімату і чистоти робочої зони передбачені наступні засоби та заходи: механізація і автоматизація тяжких і працемістких робіт; дистанційне управління процесами й апаратами; раціональне розміщення устаткування, агрегатів тощо; наявність теплоізоляції устаткування, агрегатів, комунікації й інших джерел, що випромінюють на робочих місцях тепло.

Нижче в таблиці 6.2 наведено коротку санітарну характеристику підприємства, що розглядається, а саме цеху алкілування бензолу [15].

Таблиця 6.2 – Санітарна характеристика виробництва

6.1.2 Виробниче освітлення

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

У приміщенні цеху передбачено використання природного, штучного, суміщеного та локалізованого освітлення.

Природне освітлення являє собою комбіновану систему поєднання верхнього й бокового освітлення. Штучне освітлення представлено системою, в якій світильники розміщують у верхній зоні приміщення.

У таблиці 6.3 наведені санітарно-гігієнічні норми параметрів освітлення.

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

Проектом передбачені наступні системи освітлення за функціональним призначенням: робоча, аварійна, евакуаційна, ремонтна, охоронна. Для виконання ремонтних робіт проектом передбачені переносні електричні світильники. При відключенні робочого освітлення передбачається система аварійного освітлення.

У вибухонебезпечних зонах проектом передбачене використання захищених від пилу люмінесцентних світильників. Для виміру й контролю освітленості в приміщеннях застосовують люксметри Ю-117 з періодичністю виміру 1 раз на рік і після ремонту освітлювальних установок та заміни ламп.

Окрім виробничого цеху, на виробництві наявний цех операторів АСУТП. Площа цього приміщення становить 15 м². В цьому приміщенні розташовані два автоматичних робочих місця (АРМ) оператора – технолога, обладнані ЕОМ.

Перевіримо освітленість робочого місця користувача ПК на відповідність розряду зорової роботи. За даними вимірювань рівень природної освітленості поверхні, де розташований ПК, складає 200 лк за освітленості тієї же поверхні відкритим небосхилом в 20000 лк, тобто КПО=1%, що не відповідає нормативному КПО.

Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 15м^2 , ширина A якої складає 3м , довжина $B - 5\text{м}$, висота - 3м .

Скористаємося методом використання світлового потоку [13]. Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою:

де F - світловий потік, що розраховується, Лм;

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

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

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

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

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

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

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

Знаючи індекс приміщення I знаходимо значення $\eta = 0,57$.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку:

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

де N – кількість ламп, що визначається; F - світловий потік; $F_{\text{л}}$ - світловий потік лампи.

В приміщенні використовуються світильники типу НОДЛ. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 2 світильники із 2 працюючими лампами в них.

Схема розташування світильників в операторській зображена на рисунку 6.1.

Рисунок 6.1 – Схема розташування світильників в приміщенні

6.1.3 Захист від виробничого шуму й вібрацій

Джерелами вібрації на виробництві, що проектується, є наступне устаткування: електродвигуни, вентилятори. Джерелами шумів на виробництві є реактор, ректифікаційні колони, насоси.

У виробничих приміщеннях прийнята норма рівня звуку становить 80 дБА. Допустимий рівень вібрації в приміщенні для 1-го ступеня шкідливості - до 3 дБ, для 2-ої ступені шкідливості - до 3,1 дБ, для 3-ї ступені шкідливості - більше 3,1 дБ. Дане виробництво належить до 2-го ступеня шкідливості по вібрації.

Для захисту від виробничого шуму на підприємстві передбачені звукоізоляційні пристрої: перегородки, екрани й об'ємні звукопоглиначі у вигляді перфорованих кубів і куль, підвішених над агрегатами, які спричиняють шум. Для зниження рівня вібрації під вібруюче устаткування встановлюють амортизатори, виготовлені зі сталевих пружин.

В якості індивідуальних засобів захисту від шуму згідно з [6] передбачено м'які протишумові вкладки. Для захисту рук від дії вібрацій застосовують рукавиці з спеціальними віброзахисними вставками.

Для захисту від вібрацій що передаються через ноги передбачено взуття товстою гумовою підошвою. Для вимірювання шуму та вібрації використовується вимірювач шуму та вібрації марки ВШВ-003.

6.1.4 Електробезпека

Електричне устаткування на виробництві живиться від трифазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Для змінного струму із частотою 50 Гц гранично припустимі значення напруги дотику й струму, що проходить через тіло людини, при аварійному режимі $I_l = 6$ мА, $U_{dot} = 36$ В; при нормальному режимі роботи електричного обладнання $I_l = 0,3$ мА, $U_{dot} = 2$ В.

Згідно з [8] порівнюють розрахункове значення із гранично допустимим значенням струму:

де $R_l = 2...4$ кОм, опір тіла людини;

$R_0 = 4$ Ом, опір нейтралі заземлення;

$U_{\phi} = 220$ В, фазова напруга, В.

Напруга дотику розраховується за формулою:

Таблиця 6.5 – Класифікація приміщень по ступеню небезпеки враження електричним струмом

Для забезпечення електробезпеки передбачені наступні технічні заходи й засоби: занулення, захисне відключення, мала напруга, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, знаки безпеки, огорожувальні пристрої, блокування, попереджувальна сигналізація, попереджувальні плакати. Також використовується подвійна ізоляція.

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

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

6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

Виробництво алкілування відноситься до вибухонебезпечних виробництв тому, що процес відбувається при високих температурах і великих тисків, високих електричних напругах в високовольтних насосах, при можливій наявності горючих та токсичних нафтопродуктів та їх парів.

На основі аналізу схеми виробництва було визначено, що основними джерелами екологічної небезпеки є ректифікаційні колони, так як вони працюють під високим тиском та при великій температурі.

Виробництво має вихідні трубопроводи: трубопровід пропану, трубопровід диізопропілбензолу та трубопровід ізопропілбензолу (кумолу).

Пропан є вибухонебезпечним, область займання 2,1 – 9,5% об. за нормальних умов, температура самозаймання 466 °С. Пропан транспортується на

подальшу переробку та очистку. Пропан слід транспортувати залізничним, автомобільним та водним транспортом відповідно до правил перевезення небезпечних вантажів та правил експлуатації ємкостей працюючих під надлишковим тиском [16].

Ізопропілбензол вважається небезпечним завдяки своїм властивостям: температура спалаху 34 °С; температура самозаймання 424 °С; область займання 0,9 – 6,5 % об.. При роботі з ізопропілбензолом необхідно виконувати правила захисту від статичної електрики. Ізопропілбензол є продуктом даного виробництва. Зберігають його в сталевих резервуарах під шаром азоту, та транспортують в рідкому вигляді, в металевих цистернах, залізничним транспортом. Заповнюють цистерни з розрахунком об'ємного розширення продукту в результаті перепаду температур [14].

Диізопропілбензол використовується як сировина для отримання ізопропілбензолу, трансалкіляцією. Тому диізопропілбензол транспортується на подальшу переробку. Методи транспортування аналогічні до методів транспортування ізопропілбензолу [15].

6.2 Пожежна безпека

На виробництві, що проектується, можливими джерелами пожежі є перенавантаження електроустаткування, нагріті стінки обладнання, іскри електрообладнання та від тертя деталей машин, виникнення електричної дуги при обриві ланцюгів високої напруги, перегріву електроустаткування.

Для запобігання прямих ударів блискавки споруди захищені стрижньовими блискавковідводами. Електричне обладнання закритого типу, яке встановлюють на заводі, має пило- та вологонепроникне виконання.

У таблиці 6.6. наведені показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин і матеріалів і класифікація цеху за пожежо- і вибухонебезпечністю [16,17]. При проектуванні цеху передбачені запобіжні заходи: обладнання протипожежних перешкод у вигляді гребенів, козирків, бортиків, між будинками передбачені протипожежні розриви 10 м, протипожежний водопровід, пожежні крани,

ємності з піском і пожежні щити, вогнегасники типу ВВ, ВХП; змонтована автоматична пожежна сигналізація, захист ізоляції від теплового, механічного впливу.

Для підігрівачів передбачено застосування запобіжних пристроїв (мембран, клапанів). Всі електроустановки оснащені плавкими запобіжниками від струмів короткого замикання.

Встановлюється охоронно - пожежна сигналізація автоматичного типу. Перед початком роботи трубопроводи будуть продуватись повітрям з перевіркою результатів продувки. Для захисту електроустаткування від загоряння використовують регулярне технічне обслуговування, фарбування електроустаткування негорючими матеріалами.

Висновки

В даному бакалаврському проекті був розглянутий процес алкілюванням бензолу пропіленом, і як наслідок отримання ізопропілбензолу. Під час роботи було розглянуто та вирішено наступні задачі:

1. Проведено аналіз структури ХТС, в результаті якого було визначено оптимальна послідовність розрахунку схеми.
2. За допомогою програми ChemCad 6.3.1 виконано комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів схеми.
3. Відповідно до технічного завдання розроблено обчислювальний модуль для проектного розрахунку основних конструктивних параметрів трубчастого реактора алкілювання, було знайдено довжину реактора (11,8 м). Виходячи з аналізу основних технологічних параметрів виробництва, була розроблена схема автоматизації, та підібрані необхідні комплекти приладів.
4. Визначено основні джерела екологічної небезпеки виробництва та методи запобігання викиду шкідливих речовин.
5. Проведено економічне обґрунтування створення обчислювального модуля, та визначено, що розробка обчислювального модуля є економічно вигідною.

Перелік посилань

1. Колесников, И. М. Алкилирование бензола пропиленом в присутствии алюмосиликатных катализаторов [Текст] / И. М. Колесников, Е. П. Бабин. – К.: Вища школа, 1980. – 224 с.
2. Андреас, Ф. Химия и технология пропилена [Текст] / Ф. Андреас, К. Греббе. – Л.: «Химия», 1973. – 368 с.
3. Теддер, Дж. Промышленная органическая химия [Текст] / Дж. Теддер, А. Нехватал, А. Джубб. – М.: 1977. – 704 с.
4. Бугаєва, Л. М. Аналіз та синтез хіміко–технологічних систем [Текст] / Л. М. Бугаєва, Ю. О. Безносик, Г. О. Статюха. – К.: Політехніка, 2006. – 128 с.
5. Кузнецова, И. М. ОХТ Материальный баланс химико-технологического процесса [Текст] / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампида, Н. Н. Батыршин. – М.: Логос, 2007. – 264 с.
6. Холоднов В.А. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов / В.А. Холоднов, В.П. Дьяконов, Е.Н. Иванова, Л.С. Кирьянова. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2003. – 480 с.
7. Оборудование КИПиА - датчики давления, уровнемеры, манометры, расходомеры, газоанализаторы, теплосчетчики, датчики уровня, преобразователи давления [Электронний ресурс] / НПО "РИЗУР" // Каталог обладнання контрольно-вимірювальних приладів та автоматизації. – 2007. – Режим доступу до каталогу: <http://rizur.ru/>.
8. Датчики влажности, терморегуляторы, термопары. КИПиА от производителя [Электронний ресурс] / НВК «Рэлсиб» // Каталог обладнання контрольно-вимірювальних приладів та автоматизації. – 2007. – Режим доступу до каталогу: <http://www.relsib.com/>.
9. КИПиА - контрольно измерительные приборы: датчики, контроллеры, регуляторы, измерители, терморегуляторы. Датчики температуры, давления и уровня производство КиП ОВЕН Украина Харьков [Электронний ресурс] / Компания ОВЕН // Каталог обладнання

- контрольно-вимірювальних приладів та автоматизації. – 2007. – Режим доступу до каталогу: <http://owen.com.ua/>.
10. Покропивний, С. Ф. Економіка підприємства [Текст] / С. Ф. Покропивний. – К.: КНЕУ, 2003. – 608 с.
11. Каталог підприємств України. Бизнес каталог підприємств України – TradeUkraine [Електронний ресурс] / ВАТ «Укриндекс» // Каталог підприємств в Україні. – 2002. – Режим доступу до каталогу: <http://www.tradeukraine.com>.
12. Химическая отрасль России и стран СНГ — каталог компаний [Електронний ресурс] / «ПромоПрофи» // Каталог підприємств Росії та країн СНД. – 2009. – Режим доступу до каталогу: <http://www.him-prom.su>.
13. Кукин, П. П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств [Текст] / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, Н. Л. Пономарев. – М.: Вища школа, 2001. – 319 с.
14. Бензол нафтовий.: ГОСТ 9572-93. – [Чинний від 1993-10-21]. – М.: Міжнародний стандарт 2000. – 6 с.
15. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.: ГОСТ 12.1.005-88. – [Чинний від 1989-01-01]. – М.: Міжнародний стандарт 2002. – 71 с.
16. Ізопропілбензол технічний.: ГОСТ 20491-75. – [Чинний від 1986-05-05]. – М.: Міжнародний стандарт 1986. – 23 с.
17. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки.: ГОСТ 12.1.007-76. – [Чинний від 1976-03-10]. – М.: Міжнародний стандарт 1999. – 4 с.

Додатки

Додаток А

Розрахунок матеріального балансу в програмі ChemCad 6.3.1

**Розрахунок математичної моделі кінетики хімічних реакцій реактора
ідеального витіснення в середовищі MathCad 14**

Лістинг програмного коду розрахункового модуля

Додаток Г

Специфікація устаткування