

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень .....	9
Вступ.....	10
1 Технологічна схема отримання ізопропілбензолу .....	11
2 Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу отримання ізопропілбензолу .....	14
3 Комп'ютерне моделювання технологічного апарату – трубчастого реактора алкілування .....	17
3.1 Розв'язок математичної моделі реактора .....	17
3.2 Технічні характеристики програмного модуля.....	20
3.3 Інструкція користувачу до програмного модуля.....	23
4 Автоматизація технологічної схеми виробництва ізопропілбензолу.....	26
4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми .....	26
4.2 Опис схеми автоматизації .....	27
4.2.1 Контроль та регулювання витрати.....	27
4.2.2 Контроль та регулювання температури.....	28
4.2.3 Контроль та регулювання рівня .....	28
4.2.4 Сигналізація концентрації.....	29
4.2.5 Контур перемикання.....	29
5 Економіко-технічні розрахунки добування ізопропілбензолу .....	30
5.1 Схема організації цеху.....	30
5.2 Технологічна підготовка підприємства .....	30
5.3 Оптимальний вид руху предметів праці.....	31
5.4 Чисельність персоналу .....	31
5.5 Визначення порядку технічного контролю .....	32
5.6 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва .....	33
5.7 Розрахунок техніко-економічних показників .....	35
5.8 Розрахунок економічної рентабельності автоматизації процесу добування кумолу.....	36
5.9 Порівняння техніко-економічних показників до та після автоматизації .....	37

<i>ДП ХА5122 1490 001 ПЗ</i>				
Змн.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.	Чабан Д.І.			Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу отримання ізопропілбензолу
Перевір.				
Реценз.				
Н. Контр.	Шахновський			
Затверд.	Плашихін С.В.			
		Літ.	Арк.	Аркушів
			7	1
КПІ ім. Ігоря Сікорського ХТФ, гр. ХА-51				

6 Охорона праці.....	49
6.1 Виявлення та аналіз шкідливих, небезпечних виробничих факторів в умовах проєктованого виробництва.....	49
6.1.1 Повітря робочої зони .....	49
6.1.2 Виробниче освітлення .....	50
6.1.3 Захист від виробничого шуму й вібрацій .....	53
6.1.4 Електробезпека.....	54
6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання...	55
6.2 Пожежна безпека.....	55
Висновки .....	58
Перелік посилань.....	59
ДОДАТКИ.....	61
Додаток А.....	61
Додаток Б .....	62
Додаток В.....	65
Додаток Г .....	74

## Перелік умовних позначень та скорочень

ІПБ – ізопропілбензол;

ДІПБ – діізопропілбензол;

ХТС – хіміко-технологічна система;

T – температура, °K;

$C_i$  – концентрація, Кмоль/м<sup>3</sup>;

F – витрата, м<sup>3</sup>/с;

D – діаметр, м;

L – довжина, м;

V – об'єм, м<sup>3</sup>;

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

t – час, с;

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

l – координата довжини реактора, м;

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

$k_i$  – константи швидкості хімічної реакції;

R – радіус реактора, м;

ГДК – гранично допустима концентрація;

C – собівартість;

ОФ – основні фонди;

A – амортизація основних фондів;

Ц – ціна на продукцію (послугу чи роботу);

П – прибуток;

P – рентабельність;

$T_{\pi}$  – термін повернення капіталовкладень;

E – коефіцієнт економічної ефективності;

ФВ – фондівіддача виробничих фондів;

ФЄ – фондоємність;

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## Вступ

Ізопропілбензол застосовують в якості добавки до бензинів для збільшення їх октанового числа, для синтезу фенолу, ацетону.

Диізопропілбензол в промислових масштабах окислюють до дигідроперекісей, з яких синтезують дикарбонові ароматичні кислоти.

Процес алкілування в присутності каталізатора - комплексу хлориду алюмінію з ароматичними вуглеводнями, має істотний недолік, а саме висока корозійна здатність реакційної суміші, нездатність до регенерації каталізаторів, негативний вплив на екологію середовища внаслідок накопичення побічних продуктів.

Саме тому розробка технологічних схем із застосуванням екологічно безпечних каталізаторів, вивчення хімізму та механізму алкілування і особливості проведення процесу в гетерогенних умовах являються актуальними завданнями.

Використання комплексу безводного хлориду алюмінію, який є найактивнішим каталізатором, дозволяє здійснювати процес в рідкому середовищі агента, що алкілується[2].

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

# 1 Технологічна схема отримання ізопропілбензолу

## 1.1 Загальні теоретичні відомості

Ізопропілбензол (або кумол) дуже цінується, через свою низьку температуру затвердіння –  $-96\text{ }^{\circ}\text{C}$ , та як компонент авіаційного бензину з високим октановим числом.

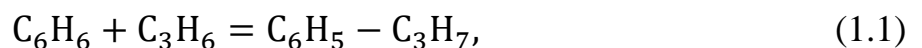
У промисловості кумол отримують взаємодіє бензолу з ізопропілхлоридом або ізопропілбромідом, та хлористого алюмінію.

Для синтезу ізопропілбензолу існує 2 основних шляхи:

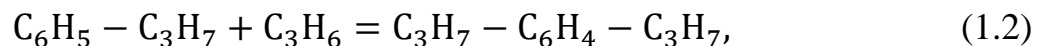
- 1) алкілування в рідкій фазі з каталізаторами  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , або  $\text{HF}$ ;
- 2) алкілування в паровій фазі на твердих каталізаторах[2].

## 1.2 Опис отримання ізопропілбензолу

Особливістю досліджуваної технологічної схеми є отримання ізопропілбензолу ( $\text{C}_6\text{H}_5 - \text{C}_3\text{H}_7$ ) алкілуванням бензолу ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) пропіленом з домішками пропану ( $\text{C}_3\text{H}_6$ , не більше 10%) в трубчастому реакторі та послідовним відділенням домішок у ректифікаційних колонах. Реакція синтезу має вигляд (1.1):



Внаслідок цієї реакції, у реакторі утворюється фракція діізопропілбензолу, за формулою (1.2)[1]:



Перебіг побічних реакцій знижує вихід цільового продукту і негативно впливає на властивості застосовуваного каталізатора. Для цього мольне відношення бензолу до пропілену можна змінювати, діізопропілбензол відправляти на дезалкілування бензолом й таким чином отримати необхідну кількість кумолу. [2].

Для протікання реакції утворення кумолу застосовано каталізатор хлорид алюмінію  $\text{AlCl}_3$ . При виборі цього каталізатора відбувається повне

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

використання пропілену, а отже бензолу треба брати з надлишком; молярне співвідношення бензолу і пропілену наближено до 2,5: 1, температура протікання реакції підтримується у діапазоні 80 – 100 °С, ступінь перетворення пропілену - 99%[3].

Основні стадії отримання ізопропілбензолу методом алкілування :

- 1) направлення бензолу й пропілену з домішками пропану зі складу до змішувача;
- 2) підтримка заданої температури 80 – 100 °С під час реакції у трубчатому реакторі;
- 3) поступове відділення домішок від ізопропілбензолу.

Технологічна схема алкілування бензолу пропіленом з домішками пропану представлена на рисунку 1.1.

Спочатку відбувається змішування бензолу і пропілену з домішками пропану. Після чого утворену суміш нагрівають у теплообміннику 1 до 100 °С, та направляють в трубчастий реактор алкілування 2. В апараті зростає температура внаслідок екзотермічної реакції утворення кумолу, тому в сорочку реактора подається холодна вода для підтримки температури 80 – 100 °С.

Потім утворену реакційну суміш нагрівають до 150 °С в теплообміннику 3, і надсилають до входу ректифікаційної колони 5. В дефлегматорі 6 температура пропану, що відділяється від вхідної суміші, становить 34 °С. Вихідна суміш у теплообміннику 4 має температуру 200 °С, тому її подають до теплообмінника 7, де охолоджують до 90 °С

Далі потік направляють до входу ректифікаційної колони 9. Бензол, що відділяють від вхідного потоку, на виході дефлегматора 10 охолоджують до 20 - 30 °С у теплообміннику 11, й за допомогою насоса 12 подають на рецикл змішування з пропіленом й бензолом зі складу.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема отримання ізопропілбензолу

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

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

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

Суміш кумолу та діізопропілбензолу в теплообміннику 8 має температуру близько 170 °С, після чого її подають на вхід ректифікаційної колони 14.

Ізопропілбензол, що відділяють від діізопропілбензолу, на виході дефлегматора 15 колони має температуру приблизно 100 °С. Залишки діізопропілбензолу у теплообміннику 13 колони, мають температуру 150 °С.

Дана технологічна схема добування ізопропілбензолу, за допомогою відділення домішок у ректифікаційних колонах 5, 9, 14 та дотримання відношення бензолу й пропілену, забезпечує чистоту кумолу 99,9% [4].

					<b>ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ</b>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## 2 Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу отримання ізопропілбензолу

Розрахунок матеріальних балансів проводиться з цілю дотримання всіх необхідних витрат та отримання необхідної кількості цільового продукту. Виконуються розрахунки теплових та матеріальних балансів, ступеню перетворення речовин, енергії активації, ентальпій, продуктивність речовин, на всіх потоках досліджуваної схеми виробництва.

Також речовин, що впливають на температуру потоку, наприклад охолоджуваної води, або гріючої пари.

У цьому розділі розраховано матеріальні баланси процесу отримання ізопропілбензолу за алкілуванням бензолу пропіленом з домішками пропану, знаходження загальних та покомпонентних витрат всієї схеми та для кожного застосованого апарату окремо.

Тепловий баланс не враховуємо, бо він не передбачений завданням даного проекту.

Для комп'ютерного розрахунку матеріальних балансів була використана програма-симулятор ChemCad 7.1.2, де розроблена схема процесу, що наведена на рисунку 2.1.

Початкові дані до розрахунку матеріальних балансів наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до проекту

Рисунок 2.1 – Схема процесу отримання ізопропілбензолу у програмі-симуляторі ChemCad 7.1.2:

1 – змішувач; 2,5,7,9 – теплообмінники; 3,4 – кінетичний реактор; 6,8,10 – ректифікаційні колони

У створеній схемі застосовано моделі апаратів, що найбільш точно відображають властивості існуючих апаратів та мають вплив на матеріальний

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			



баланс. Використані моделі та їх вхідні й вихідні потоки наведено у таблиці 2.2[5].

Таблиця 2.2 – Список застосованих моделей апаратів у схемі ChemCad

Описання застосованих модулів:

- Stream Mixer (1) – змішувач, що змішує вхідні потоки.
- Simple Heat Exchanger (2)– теплообмінник, що нагріває вхідний потік до 100 °С.
- Kinetic Reactor (3,4)– кінетичний реактор, у якому протікає реакції утворення ізопропілбензолу та діізопропілбензолу при 100 °С.
- Simple Heat Exchanger (5) – теплообмінник, що нагріває вхідну суміш до 150 °С.
- Component Separator (6) – сепаратор, який відділяє пропан від вхідної суміші.
- Simple Heat Exchanger (7) – теплообмінник, що охолоджує вхідну суміш до 90 °С.
- Component Separator (8) – сепаратор, який відділяє бензол від вхідної суміші.
- Simple Heat Exchanger (9) – теплообмінник, що охолоджує бензол-рецикл до 25 °С.
- Component Separator (10) – сепаратор, який відділяє ізопропілбензол від діізопропілбензолу.

Використовуючи розроблену схему та звіт потоків цієї схеми у програмі-симуляторі, розраховано матеріальні баланси процесу отримання кумолу. Розраховані значення та витрати потоків наведено у таблицях 2.3 – 2.7 .

Таблиця 2.3 – Матеріальний баланс технологічної схеми (кг/год)

Таблиця 2.4 – Матеріальний баланс реактору алкілування (кг/год)

					<b>ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Таблиця 2.5 – Матеріальний баланс ректифікаційної колони №6 (кг/год)

Таблиця 2.6 – Матеріальний баланс ректифікаційної колони №8 (кг/год)

Таблиця 2.7 – Матеріальний баланс ректифікаційної колони №10 (кг/год)

Таким чином, за результатами розрахунків матеріальних балансів можна зробити висновок, що створена схема процесу добування кумолу у програмі-симуляторі ChemCad 7.1.2 розроблена вірно.

Звіт з витрат потоків розробленої схеми наведено у додатку А.

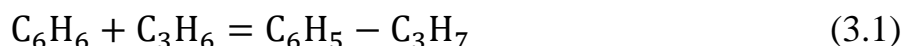
					<i>ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ</i>	Арк.
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>			

### 3 Комп'ютерне моделювання технологічного апарату – трубчастого реактора алкілування

#### 3.1 Розв'язок математичної моделі реактора

У даному розділі проведено моделювання та розрахунок трубчастого реактора, у якому відбувається процес алкілування бензолу пропіленом з домішками пропану й утворення ізопропілбензолу.

Реакція отримання ізопропілбензолу має вигляд (3.1):



Під час реакції використовується рідкий каталізатор  $AlCl_3$ , температура протікання реакції 373 К при атмосферному тиску.

Процес алкілування бензолу пропіленом характеризується виділенням значної кількості енергії, але, за рахунок подачі холодної води до сорочки реактора, температура залишається в межах 373 К.

Тобто можемо допустити, що реакція відбувається при сталій температурі. А отже можемо вважати, що реактор працює в ізотермічному режимі[2]. Для таких трубчатих реакторів характерний гідродинамічний режим роботи – реактор ідеального витіснення.

В реакторі ідеального витіснення приймаються такі допущення:

- 1) поршневе просування без змішування вздовж потоку, та рівномірному розподілі реакційної маси.
- 2) температура й коефіцієнт швидкості реакції будуть постійні.
- 3) час перебування часток суміші однаковий.

Але спочатку визначимо зміну концентрації бензолу, пропілену та ізопропілбензолу з часом, бо особливістю нашого способу добування кумолу є повне використання пропілену під час алкілування.

Таким чином, складаємо кінетичну модель реакції алкілування з початковими умовами (3.2):

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$$\begin{cases} W_A = \frac{dC_A}{dt} = -k * C_A * C_B \\ W_B = \frac{dC_B}{dt} = -k * C_A * C_B \\ W_C = \frac{dC_C}{dt} = k * C_A * C_B \end{cases} \quad (3.2)$$

При  $t = 0$ , на вході реактора концентрації компонентів будуть дорівнювати:

$$\begin{cases} C_{A0} = 6,34 \\ C_{B0} = 3,394 \\ C_{C0} = 0 \end{cases}$$

де  $W_A, W_B, W_C$  – швидкість протікання реакції, моль/(л\*с);  $k$  – константа швидкості реакції, л/(моль\*с);  $t$  – час проведення реакції, с;  $C_{A0}, C_{B0}, C_{C0}$  – початкові концентрації компонентів на вході в реактор, моль/л.

Розраховуємо константу швидкості реакції за формулою (3.3)[1]:

$$k_1 = A \cdot e^{\frac{E}{R \cdot T}}, \quad (3.3)$$

де  $A = 6510$  – предекспоненціальний коефіцієнт;  $E = -52564$  – енергія активації, Дж/(моль\*л);  $R$  – універсальна газова стала, Дж/(моль\*К);  $T$  – температура протікання реакції, К.

Для того, щоб розв'язати систему диференційних рівнянь (3.2) використаємо математичний пакет програми MathCad 15.

Розв'яжемо систему за допомогою двох методів, а саме: методу Ейлера та методу Рунге-Кутта; та проведемо аналіз порівняння розрахованих даних.

Так як, в нашому реакторі використовується 99% пропілену, що являє собою час перебування реакції, то будемо відбирати час за цим критерієм для обох методів.

Приклад розрахунків у MathCad 15 представлено у додатку Б.

Розрахувавши систему за методом Ейлера, реакція, при використанні 99% пропілену, закінчується за  $\tau = 4650$  с. Далі розрахувавши систему за методом Рунге-Кутта отримуємо  $\tau = 4700$  с. Так як різниця між розрахованими значеннями не критична, та допускаючи, що чистота

										Арк.
										18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис							

утвореного кумолу становить 99,9%, обираємо розрахований час перебування за методом Ейлера.

Графік зміни концентрації компонентів за часом наведено у рисунку 3.1:

Рисунок 3.1 – Графік зміни концентрації компонентів за часом

За допомогою раніше створеної схеми у ChemCad, маємо об'ємний видаток реакційної суміші:  $w = 4.581 \text{ м}^3/\text{год}$ . Таким чином розраховуємо об'єм та довжину реактора (3.4, 3.5):

$$V = w/3600 * t, \quad (3.4)$$

$$L = \frac{V}{3.14 * r^2}, \quad (3.5)$$

де  $V$  – об'єм реактора,  $\text{м}^3$ ;  $w$  – об'ємний видаток реактора на вході в реактор,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $L$  – довжина реактора,  $\text{м}$ ;  $r = 0,4$  – радіус робочої частини реактора зі стандартизованих розмірів,  $\text{м}$ .

Перед складанням моделі реактора ідеального витіснення приймемо припущення, що час перебування часток однаковий і визначається за формулою лінійної швидкості (3.7):

$$u = \frac{w/3600}{S} \quad (3.6)$$

Також знаходимо площу поперечному перерізу потоку реакційної суміші (3.7):

$$S = \pi * r^2, \quad (3.7)$$

Записуємо математичну модель реактора ідеального витіснення (3.8):

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -U \frac{\partial C_i}{\partial l} + W r_i, \quad (3.8)$$

де  $U$  - середня лінійна швидкість потоку в реакторі ідеального витіснення,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $l$  - координата довжини реактора,  $\text{м}$ .

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Через те що час перебування часток в реакторі однаковий, можемо записати математичну модель реактора ідеального витіснення з статичним режимом у вигляді (3.9):

$$-U \frac{\partial C_i}{\partial l} + W r_i = 0 \quad (3.9)$$

За отриманою моделлю складаємо систему диференційних рівнянь покомпонентного матеріального балансу (3.10):

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dl} = \frac{W r_A}{u} = \frac{-k_1 * C_A * C_B}{u} \\ \frac{dC_B}{dl} = \frac{W r_B}{u} = \frac{-k_1 * C_A * C_B}{u}, \\ \frac{dC_C}{dl} = \frac{W r_C}{u} = \frac{k_1 * C_A * C_B}{u} \end{cases} \quad (3.10)$$

При  $l = 0$ :

$$\begin{cases} C_{A0} = 6,34 \\ C_{B0} = 3,394 \\ C_{C0} = 0 \end{cases}$$

Розв'язуємо систему диференційних рівнянь за методом Ейлера, й як результат, отримуємо графік зміни концентрації компонентів в залежності від довжини реактора (рис. 3.2).

Отже, було знайдено розв'язок математичної моделі трубчастого реактора ідеального витіснення за допомогою програми MathCad 15. Приклад розрахунків представлено у додатку Б.

Рисунок 3.2 – Графік зміни концентрації за довжиною реактора

### 3.2 Технічні характеристики програмного модуля

За знайденою математичною моделлю трубчастого реактора ідеального витіснення, було створено програмний модуль розрахунків у вигляді програми в інтегрованому комп'ютерному середовищі VisualStudio C#.

Рішення проекту «ModelDiplom»: «Form1», «Form2», «Form3», «Form4», «Form5», «Form6».

									ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
										20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис							

Список застосованих елементів та їх функціональні можливості приведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні елементи обчислювального модуля

За допомогою обраних елементів управління були створені процедури, що дозволяють провести розрахунок трубчастого реактора ідеального витіснення на зручному та інтуїтивно-зрозумілому користувачу інтерфейсі.

Для розв'язування математичної моделі був розроблений алгоритм:

1. Задаємо початкові умови для знаходження кінетики реакції та розв'язання математичної моделі трубчастого реактора:

- $C_{a\_k}$  – концентрація бензолу ;
- $C_{b\_k}$  – концентрація пропілену;
- $T\_k$  - температура реакції;
- $t_{k\_k}$  – максимальний час проведення реакції;
- $E\_k$  – енергія активації;
- $A\_k$  – предекспоненціальний коефіцієнт;
- $w\_k$  – об'ємний видаток реакційної суміші;
- $d\_k$  – діаметр реактора;
- $dl\_k$  – крок інтегрування реактора.

2. Розраховуємо рівняння Арреніуса (3.11) та знаходимо кількість значень (3.12), при  $R = 8.31$ ,  $h = 10$ :

$$k\_k = A\_k \cdot e^{\frac{E\_k}{R \cdot T\_k}} \quad (3.11)$$

$$n = t_{k\_k} / h, \quad (3.12)$$

3. Далі починається цикл розрахунку системи кінетики реакції (3.2) за методом Ейлера:

$i = 1, \dots, n$ ;  $C_{a1_0} = C_{a_k}$ ,  $C_{b1_0} = C_{b_k}$ ,  $C_{c1_0} = 0$  - умови циклу.

Записуємо систему функцій (3.13):

$$\begin{cases} f_{Ca_{i-1}} = -k_k * Ca_{i-1} * Cb_{i-1} \\ f_{Cb_{i-1}} = -k_k * Ca_{i-1} * Cb_{i-1}, \\ f_{Cc_{i-1}} = k_k * Ca_{i-1} * Cb_{i-1} \end{cases} \quad (3.13)$$

Систему розрахунку i+1 елементу(3.14):

$$\begin{cases} Ca_{i-1} = Ca_{i-1} + f_{Ca_{i-1}} * h \\ Cb_{i-1} = Cb_{i-1} + f_{Cb_{i-1}} * h, \\ Cc_{i-1} = Cc_{i-1} + f_{Cc_{i-1}} * h \end{cases} \quad (3.13)$$

Розрахунок часу проведення реакції (3.14) та умову закінчення процесу (3.15):

$$tim_i = i * h, \quad (3.14)$$

$$Cb_{i-1} \leq Cb_{i-1} - Cb_{i-1} * 0.99 \quad (3.15)$$

4. Після знаходження концентрацій компонентів та часу закінчення реакції, знаходимо об'єм реактора (3.16), площу поперечного перерізу потоку реакційної суміші (3.17), довжину реактора (3.18) та лінійну швидкість реакційної суміші (3.19):

$$V_k = \frac{w_k}{3600} * tim_i, \quad (3.16)$$

$$S_k = \pi * \left(\frac{d_k}{2}\right)^2, \quad (3.17)$$

$$L_k = \frac{V_k}{S_k}, \quad (3.18)$$

$$u_k = \left(\frac{w_k}{3600}\right)/S_k \quad (3.19)$$

5. Розраховуємо математичну модель реактора ідеального витіснення (3.10) за методом Ейлера:

i = 1, ... n; Ca<sub>l0</sub> = Ca<sub>k</sub>, Cb<sub>l0</sub> = Cb<sub>k</sub>, Cc<sub>l0</sub> = 0, lim<sub>0</sub> = 0 - умови циклу.

Записуємо систему функцій (3.20):

$$\begin{cases} f_{Ca_{l_{i-1}}} = (-k_k * Ca_{l_{i-1}} * Cb_{l_{i-1}})/u_k \\ f_{Cb_{l_{i-1}}} = (-k_k * Ca_{l_{i-1}} * Cb_{l_{i-1}})/u_k, \\ f_{Cc_{l_{i-1}}} = (k_k * Ca_{l_{i-1}} * Cb_{l_{i-1}})/u_k \end{cases} \quad (3.20)$$

Систему розрахунку i+1 елементу моделі реактору (3.21):

										Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис							



$$\begin{cases} Ca_i = Ca_{i-1} + fCa_{i-1} * h \\ Cb_i = Cb_{i-1} + fCb_{i-1} * h, \\ Cc_i = Cc_{i-1} + fCc_{i-1} * h \end{cases} \quad (3.21)$$

Розрахунок кількість точок (3.22) :

$$lim_i = lim_{i-1} + d_k, \quad (3.22)$$

6. Далі є можливість відкрити вкладки з графічним та табличним представленням розрахованих значень, та зберегти звіт у файлі.

Приклад коду створеного програмного модуля знаходиться у додатку В.

### 3.3 Інструкція користувачу до програмного модуля

Розроблена програма призначена для розрахунку трубчатого реактора, в якому протікає процес алкілування бензолу пропіленом з утворенням ізопропілбензолу.

Після запуску програмного модуля відкривається графічний інтерфейс, загальний вид якого наведено на рисунку 3.3.

Функціональні можливості вкладок:

1. «Загальне положення» - короткі теоретичні відомості досліджуваної речовини. Містить на інтерфейсі наступні кнопки:

- «Схема у програмі-симуляторі ChemCad» - відкриває вікно зі схемою процесу отримання ізопропілбензолу, розробленої у ChemCad (рис. 3.4);

Рисунок 3.3 – Вкладка «Загальне положення»

Рисунок 3.4 – Вікно «Схема ChemCad»

- «Технологічна схема отримання кумолу» - відкриває вікно з технологічною схемою отримання ізопропілбензолу та її поясненням (рис.3.5);

Рисунок 3.5 – Вікно «Технологічна схема отримання ізопропілбензолу»

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

- «Модель реактора ідеального витіснення» - відкриває вікно з виведенням математичної моделі реактора ідеального витіснення (рис.3.6);

Рисунок 3.6 – Вікно «Модель реактора ідеального витіснення»

2. «Розрахункова частина» - записує вхідні данні до проекту та розраховує шукані величини (рис. 3.7):

Рисунок 3.7 – Вкладка «Розрахункова частина»

Містить поля для вводу необхідних даних та виводу розрахованих значень. Також на інтерфейсі є наступні кнопки:

- «Автоматичне введення даних» - самостійно заповнює поля початкових значень;
- «Розрахунок» - проводить належні розрахунки основних параметрів процесу, які протікають у трубчатому реакторі;
- «Звіт з обчислення» - відкриває вікно з розрахованими значеннями (рис. 3.8), яке містить кнопку зберігання цих значень у форматі RTF (рис. 3.9):

Рисунок 3.8 – Вікно «Звіт розрахунків»

Рисунок 3.9 – Вікно «Зберігання у файл»

- «Табличне та графічне зображення даних» - відкриває вікно з графічним та табличним зображенням знайдених величин (рис. 3.10):

Рисунок 3.10 – Вікно «Таблиці та графіки»

На графічному інтерфейсі розробленої програми знаходяться пункти меню, які мають унікальні функціональні можливості:

1. Заголовок «Файл» - містить пункт «Автоматичне введення даних», що самостійно вводить початкові значення; пункт

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

«Розрахувати», що запускає розрахунок шуканих величин; та пункт «Очистити поля», що видаляє вписані у поля величини (рис. 3.11);

Рисунок 3.11 – Заголовок «Файл»

2. Заголовок «Зберегти файл» - дозволяє записати розраховані значення у файл типу RTF (рис. 3.12);

3. Заголовок «Вихід» - закриває програмний модуль.

Рисунок 3.12 – Заголовок «Зберегти файл»

Отже, за результатами розрахунків написаного програмного модуля, було досліджено математичні моделі реакції отримання ізопропілбензолу та трубчатого реактора ідеального витіснення.

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## 4 Автоматизація технологічної схеми виробництва ізопропілбензолу

### 4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми

Проведення автоматизації виробництва є основою науково-технічного прогресу, бо надає можливість контролювати та регулювати якість вироблюваної продукції, зменшити кількість початкової сировини та енергії, й забезпечити робоче місце.

Головною задачею технологічного процесу є синтезування заданої кількості ізопропілбензолу. Після проведення аналізу технологічної схеми було встановлено, що першочерговим є контроль витрат сировини у заданій пропорції, встановленні необхідного рівня в ректифікаційних колонах й перевірки концентрації пропану у приміщенні. Для того щоб забезпечити якісний кінцевий продукт в необхідній кількості, потрібно провести контроль та регулювання таких параметрів[7]:

- витрати речовин на вході та виході реактора та ректифікаційних колон;
- співвідношення витрат бензолу та пропілену на виході зі змішувача (2,2:1);
- температури в теплообмінниках, трубчастому реакторі та на виходах ректифікаційних колон;
- концентрації пропану у приміщенні робочого цеху;
- рівня кубового залишку ректифікаційних колон.

За проведеним аналізом було встановлено необхідні прилади та засоби автоматизації виробництва та параметри реєстрації, контролю й регулювання. Також для визначених параметрів визначена необхідна точність вимірювання й регулювання. Всі налаштування автоматизації технологічного процесу наведені у таблиці 4.1.

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

За даними таблиці 4.1, була розроблена схема автоматизації процесу отримання ізопропілбензолу.

При вибиранні необхідних засобів автоматизації, були враховані такі правила:

- 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.

Застосовані засоби автоматизації обрані за [8-10] та записані до специфікації у додатку Г.

## **4.2 Опис схеми автоматизації**

### **4.2.1 Контроль та регулювання витрати**

Контроль та регулювання витрати виконується за допомогою звужуючого пристрою діафрагми камерної ДКС 10-150 (поз. 1-1,3-1) з діаметром умовного проходу 150 мм, ДКС 10-175 (поз. 2-1, 17-1, 20-1, 23-1, 24-1) з діаметром умовного проходу 175 мм, ДКС 10-250 (поз. 4-1, 13-1) з діаметром умовного проходу 250 мм, ДКС 10-100 (поз. 10-1, 11-1, 26-1) з діаметром умовного проходу 100 мм, виготовлені зі сталі марки 12Х18Н10Т.

Після чого сигнал з витратоміра проходить до дифманометра мембранного безшкального ДМ-3583 М (поз. 1-2, 2-2, 3-2, 4-2, 10-2, 11-2, 13-2, 17-2, 20-2, 23-2, 24-2, 26-2), потім сигнал поступає на прилад контролю та регулювання витрати РП 120-30 (поз. 10-3, 13-3, 17-3, 20-3, 23-3, 26-3), з якого сигнал поступає на виконавчий механізм МЕО-40/10-0,25-99К (поз. 1-5, 5-3, 6-3, 7-3, 8-3, 9-3, 10-4, 13-4, 14-3, 15-3, 16-3, 17-4, 18-3, 20-4, 21-3, 22-3, 23-4, 26-4).

					<b>ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ</b>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

В контурах 1 і 2, з дифманометра сигнал проходить на суматор МС-II ЕХР (поз. 1-3). З суматора сигнал потрапляє в регулятор співвідношення УЗОР-01С (поз. 1-4).

В контурах 4, 5, 18, 42 сигнал з дифманометра поступає на показуючий автоматичний прилад РП 120-20 (поз. 3-3, 4-3, 11-3, 24-3), який контролює витрату.

#### **4.2.2 Контроль та регулювання температури**

Для вимірювання температури використовуються термоелектричні перетворювачі опору марки ТСПУ-0289 (поз. 5-1, 6-1, 7-1, 8-1, 9-1, 14-1, 15-1, 16-1, 18-1, 21-1, 22-1) з діапазоном вимірювання температури -200-600 °С, що використовуються для вимірювання температури у рідких, газоподібних та сипучих речовинах, з перетворенням опору в уніфікований сигнал 4-20 мА.

Далі сигнал подається на електричний ПІД-регулятор марки МТМ 620 (поз. 5-2, 6-2, 7-2, 8-2, 9-2, 14-2, 15-2, 16-2, 18-2, 21-2, 22-2), який видає регулюючий вплив на виконавчий механізм (поз. 1-5, 5-3, 6-3, 7-3, 8-3, 9-3, 10-4, 13-4, 14-3, 15-3, 16-3, 17-4, 18-3, 20-4, 21-3, 22-3, 23-4, 26-4).

#### **4.2.3 Контроль та регулювання рівня**

Контроль рівня в ректифікаційних колонах виконується за допомогою комплекту регулювання рівня САУ-М6, який включає в себе кондуктометричний датчик (поз. 12-1, 19-1, 25-1) та електронний регулятор рівня рідини ЕРСУ-3(поз. 12-2, 19-2, 25-2). Цей набір 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, який регулює витрату кубового залишку (поз. 13-3, 20-3, 26-3), і стабілізує рівень рідини в колонах.

					<b>ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ</b>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

#### 4.2.4 Сигналізація концентрації

При перевищенні допустимої норми вибухонебезпечного пропану, встановлений комплект для вимірювання концентрації КАЦ-021МС (поз. 27-1, 27-2, 27-3), до якого входять датчик GS133, підсилювач сигналу, реєстратор та сигналізація ЛС-47 (поз. НЛ1).

#### 4.2.5 Контур перемикання

Для контролю насоса використовують: пост керування кнопковий марки ПКУ 15-21- 131-УЗ (поз. SB1, SB2), кнопку запобігання вимикання марки КМЕ – 5111 УЗ (поз. SA1) та магнітний пускач марки ПМ12-160210У2В (поз. МП1). Для сигналізації верхньої та нижньої межі рівня використовуються індикаторні лампи марки УПС-1 (поз. НЛ1, НЛ2).

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

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## 5 Економіко-технічні розрахунки добування ізопропілбензолу

### 5.1 Схема організації цеху

Метою діяльності хіміко-технологічного цеху є отримання кумолу, який використовується в сфері виготовлення бензину, а також слугує одним із важливіших компонентів масла для двигунів, що експлуатуються в критичних умовах. Вид економічної діяльності: виробництво продуктів нафтопереробки (С.19.20).

Розроблено систему автоматизації процесу отримання ізопропілбензолу, через алкілування бензолу пропіленом з домішками пропану. Щоб реалізувати цей проект, була створена організаційна структура цеху (рис. 5.1):

Рисунок 5.1 – Організаційна структура цеху

Під час отримання ізопропілбензолу утворюються незначні залишки діізопропілбензолу. Продуктивність цеху представлено у таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 – Продуктивність цеху

### 5.2 Технологічна підготовка підприємства

Запишемо види виробничого процесу добування ізопропілбензолу:

I. Основні:

1. Змішування бензолу з пропіленом;
2. Нагрівання суміші до необхідної температури;
3. Процес алкілування бензолу пропіленом у реакторі;
4. Відокремлення домішок від утвореного кумолу;
5. Транспортування готового продукту на склад.

II. Допоміжні:

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			



1. Закупівля, транспортування та проведення аналізів сировини;
  2. Закупівля необхідних деталей для приладів;
  3. Огляд працездатності приладів.
- III. Бічні: утилізація або продаж (на переробку) відходів.
- IV. Підсобні: чистка обладнання та цеху.

### 5.3 Оптимальний вид руху предметів праці

Процес добування ізопропілбензолу через алкілування бензолу пропіленом має наступні припущення: безперервний режим роботи, рівномірний розподіл речовин у поперечному перерізі, частки перебувають у реакторі за одним часом.

Тривалість виробничого циклу показано у таблиці 5.2:

Таблиця 5.2 – Тривалість отримання готової продукції

Такий характер отримання кумолу дає змогу вибрати синхронізований ВРПП (рис. 5.2)[11].

Рисунок 5.2 – Синхронізований ВРПП

### 5.4 Чисельність персоналу

У персоналу, що працює, для підтримання безперервного режиму роботи цеху, графік характеризується 6-ти годинним робочим чергуванням, так як на робочому місці присутні шкідливі умови праці. До такого персоналу відносяться: інженер-технолог, лаборант, два оператора пульта управління, двоє механіка та охоронець.

Явочна чисельність робітників цеху:  $\text{Ч}_{\text{явочна}} = 7$  працівників.

Тривалість роботи підприємства на рік (5.1):

$$T_{\text{рік}}^{\text{підпр}} = 365 * 24 = 8760 \text{ год/рік} \quad (5.1)$$

Тривалість роботи працівника на рік (5.2):

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$$T_{\text{рік}}^{\text{прац}} = \frac{365}{T_{\text{зм.об.}}} (T_{\text{зм.об.}} - T_{\text{вих.}}) T_{\text{зм.}} = \frac{365}{25} (25 - 5) * 6 = 1752 \text{ год/рік} \quad (5.2)$$

де  $T_{\text{зм.об.}}$  - змінооборот, днів;  $T_{\text{вих.}}$  - кількість вихідних;  $T_{\text{зм.}}$  - час зміни.

Кількість бригад (5.3):

$$N_{\text{бриг.}} = \frac{T_{\text{рік}}^{\text{підпр}}}{T_{\text{рік}}^{\text{прац}}} = \frac{8760}{1752} = 5 \quad (5.3)$$

Кількість робочого персоналу за списком (5.4):

$$Ч_{\text{сп}} = Ч_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{рік}}^{\text{підпр}}}{T_{\text{рік}}^{\text{прац}}} = 7 \text{ осіб} * 5 = 35 \text{ осіб} \quad (5.4)$$

Графік роботи в цеху буде поділятися на:

I зміна – 6.00 – 12.00; II зміна – 12.00 – 18.00;

III зміна – 18.00 – 00.00; IV зміна – 00.00 – 6.00.

Також, для підтримки безперервного виробництва ізопропілбензолу нам знадобиться 5 бригад. Таким чином можемо скласти графік змінності робочого персоналу (табл. 5.3):

Таблиця 5.3 – Графік змінності робочого персоналу

У адміністрації графік характеризується 8-годинним робочим днем, 5 днів на тиждень. До такого персоналу відносяться: начальник цеху та бухгалтер. Явочна чисельність адміністрації:  $Ч_{\text{явочна}} = 2$  особи

Тривалість роботи працівника на рік:

$$T_{\text{рік}}^{\text{прац}} = \frac{365}{T_{\text{зм.об.}}} (T_{\text{зм.об.}} - T_{\text{вих.}}) T_{\text{зм.}} = \frac{365}{7} (7 - 2) * 8 = 2085 \text{ год/рік}$$

Кількість адміністративного персоналу за списком:  $Ч_{\text{яв}} = 2$  особи.

Графік роботи адміністрації з 8.00 – 16.00, наведено у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 – Графік змінності робочого персоналу

## 5.5 Визначення порядку технічного контролю

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Технічний контроль – це перевірка відповідності продукції або процесу, від якого залежать її якість встановленим технічним вимогам. Об'єктом технологічного контролю є технологічний процес. Контроль поділяють на вхідний, заключний, проміжний.

Вхідний контроль включає в себе аналіз якості вхідної сировини. Для цього лаборант перевіряє концентрації речовин на вхідних потоках технологічної установки автоматизації. В його обов'язки входить вести журнал вхідного контролю, записи якого перевіряє інженер-технолог.

Проміжним контролем є перевірка протікання технологічного процесу. Лаборант зобов'язаний вести журнал проміжного контролю, який потім перевіряє інженер-технолог.

На заключному контролі проводиться оцінка якості готової продукції, а саме кумолу. Перевіряється на скільки чиста продукція була утворена внаслідок технологічного процесу. Усі аналізи проводить інженер-технолог, результати яких заносить до журналу заключного контролю. За яким оформлюється паспорт на отриману продукцію.

## **5.6 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва**

Оборотні засоби – предмети праці, які повністю витрачаються в виробничому циклі і переносять свою вартість на вартість готової продукції повністю і одразу. До оборотних засоби відносять:

- Покупка сировини;
- Опалення приміщення;
- Електроенергія;
- Заробітна плата;
- Оренда будівлі.

1. Затрати на сировину проілюстровано у таблиці 5.5:

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## Таблиця 5.5 – Вартість сировини

### 2. Витрати на електроенергію:

Потужність обладнання  $N = 19\,000$  кВт/год.

Ціна в денний час – 1 кВт = 2,5 грн, в нічний час – 1 кВт =  $2,5 * 0,5 = 1,25$  копійок.

Підприємство працює 24 години на добу, 365 днів на рік:

Денний час:  $V_{7:00-23:00} = 16 * 365 * 19\,000 * 2,5 = 277\,400\,000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ ,

Нічний час:  $V_{23:00-07:00} = 8 * 365 * 19\,000 * 1,25 = 69\,350\,000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ .

Витрати на електроенергію:

$$Z_{e/e} = 277\,400\,000 + 69\,350\,000 = 346\,750\,000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

### 3. Витрати на опалення наведені у таблиці 5.6:

## Таблиця 5.6 – Вартість опалення

### 4. Заробітна плата працівників наведена у таблиці 5.7:

## Таблиця 5.7 – Заробітна плата

### 5. Вартість ОбЗ наведена у таблиці 5.8:

## Таблиця 5.8 – Вартість ОбЗ

Основні засоби – це засоби праці, які багаторазово приймають участь в процесі виробництва зі збереженням своєї матеріальної форми.

До основних засобів належать:

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

Вартість обладнання та інвентарю наведені у таблиці 5.9:

					<b>ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ</b>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Таблиця 5.9 – Вартість обладнання та інвентарю

Ціна основних фондів наведена у таблиці 5.10:

Таблиця 5.10 – Основні фонди

### 5.7 Розрахунок техніко-економічних показників

Вартість основних засобів:  $OЗ = 815\ 000 + 1\ 925\ 000 = 2\ 740\ 000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ .

Амортизація:  $A = 149\ 583 + 388\ 000 = 537\ 583 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ .

Розраховуємо собівартість виробничу (5.5) та повну (5.6):

$$C_{\text{виробн.}} = A + OЗ = 537\ 583 + 2\ 808\ 037\ 490 = 2\ 808\ 575\ 073 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (5.5)$$

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{вир.}} + 20\% * \text{невр.} + 50\% * \text{накл.} = 4\ 774\ 577\ 625 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (5.6)$$

Запланована ціна продукції наведена у таблиці 5.11:

Таблиця 5.11 – Ціна продукції

Сумарна запланована ціна продукції:  $Ц = 7\ 060\ 143\ 900 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ .

Випуск продукції за рік:  $B = 23\ 105 \frac{\text{т}}{\text{рік}}$ .

Знаходимо прибуток (5.7):

$$\Pi = Ц - C = 7\ 060\ 143\ 900 - 4\ 774\ 577\ 625 = 2\ 285\ 566\ 275 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (5.7)$$

Рентабельність (5.8):

$$P = \frac{\Pi}{C} = \frac{2\ 285\ 566\ 275}{4\ 774\ 577\ 625} \cdot 100\% = 47,9\%. \quad (5.8)$$

Капіталовкладення (5.9):

$$K = OЗ + OЗЗ = 2\ 740\ 000 + 2\ 808\ 037\ 490 = 2\ 810\ 777\ 490 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \quad (5.9)$$

Коефіцієнт економічної ефективності (5.10):

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{2\,285\,566\,275}{2\,810\,777\,490} = 0,813 \quad (5.10)$$

Термін повернення капіталовкладення (5.11):

$$T_{\text{пов}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,813} = 1,23 \text{ роки} \quad (5.11)$$

Фондовіддача (5.12) та фондоємність (5.13):

$$\Phi B = \frac{\Pi}{\text{ОФ}} = \frac{7\,060\,143\,900}{815\,000} = 8662,75 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}, \quad (5.12)$$

$$\Phi \epsilon = \frac{1}{\Phi B} = 0,00012 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}. \quad (5.13)$$

### 5.8 Розрахунок економічної рентабельності автоматизації процесу добування кумолу

Після проведення технологічних розрахунків та встановлення нового обладнання на установку, витрати бензолу та пропілену змінилися. Витрати після автоматизації наведені у таблиці 5.12:

Таблиця 5.12 – Витрати після автоматизації

Також, замість двох операторів управління потрібен тепер один. Це означає зміну кількості персоналу. Явочна чисельність робітників цеху:

$$Ч_{\text{яв}} = 6 \text{ осіб}, \quad Ч_{\text{сп}} = Ч_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{р\ddot{и}к}}^{\text{п\ddot{и}дп}}}{T_{\text{р\ddot{и}к}}^{\text{прац}}} = 30 \text{ осіб.}$$

Затрати на сировину проілюстровано у таблиці 5.13:

Таблиця 5.13– Витрати на сировину після автоматизації

Заробітна плата працівників наведена у таблиці 5.14:

Таблиця 5.14– Заробітна плата після автоматизації

Вартість ОбЗ наведена у таблиці 5.15:

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## Таблиця 5.15– Вартість ОбЗ після автоматизації

Також нове обладнання змінить вартість всього обладнання та коштів, і, як наслідок, зміниться вартість основних засобів та амортизації:

$$OЗ = 815\,000 + 1\,977\,500 = 2\,792\,500 \frac{\text{грн}}{\text{рік}},$$

$$A = 149\,583 + 393\,000 = 542\,833 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Таким чином розраховуємо нові техніко-економічні показники.

Розраховуємо собівартість:

$$C_{\text{виробн.}} = A + OЗ = 542\,833 + 2\,800\,326\,290 = 2\,800\,869\,123 \frac{\text{грн}}{\text{рік}},$$

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{виробн.}} + 20\% * \text{невр.} + 50\% * \text{накл. і} = 4\,761\,477\,510 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Прибуток:

$$\Pi = \text{Ц} - C = 7\,060\,143\,900 - 4\,761\,477\,510 = 2\,98\,666\,390 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

$$\text{Рентабельність: } P = \frac{\Pi}{C} = \frac{2\,98\,666\,390}{4\,761\,477\,510} \cdot 100\% = 48,3\%.$$

Капіталовкладення:

$$K = OЗ + OЗЗ = 2\,792\,500 + 2\,800\,326\,290 = 2\,803\,118\,790 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{2\,98\,666\,390}{2\,803\,118\,790} = 0,82.$$

Термін повернення капіталовкладення:  $T_{\text{пов}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,82} = 1,219$  роки.

$$\text{Фондовіддача: } ФВ = \frac{\text{Ц}}{OФ} = \frac{7\,060\,143\,900}{815\,000} = 8662,7 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}.$$

$$\text{Фондоємність: } ФЄ = \frac{1}{ФВ} = 0,00012 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}.$$

### 5.9 Порівняння техніко-економічних показників до та після автоматизації

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Для зручності проведення аналізу економічної ефективності автоматизації процесу, складемо таблицю 5.16:

Таблиця 5.16– Порівняльна таблиця техніко-економічних показників

Як результат бачимо, що проведення автоматизації процесу отримання ізопропілбензолу змінила:

- зменшення чисельності робочого персоналу;
- зменшення собівартості;
- збільшення прибутку;
- збільшення рентабельності виробництва;
- зменшення капіталовкладень та їх терміну повернення.

Отже, проведення автоматизації виробництва ізопропілбензолу є більш економічно вигідним ніж зі звичайним виробництвом.

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			



## 6 Охорона праці

Процес виробництва кумолу включає в себе використання шкідливих, вибухонебезпечних речовин; застосування теплової та електричної енергії.

Даний проект розроблений, згідно вимог охорони праці та пожежної безпеки.

Аналізуючи небезпечні та шкідливі речовини, у цьому розділі розроблені заходи, що забезпечать здорове та безпечне робоче місце з відповідною пожежною безпекою[11,12].

### 6.1 Виявлення та аналіз шкідливих, небезпечних виробничих факторів в умовах проектного виробництва

#### 6.1.1 Повітря робочої зони

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, категорія робіт за важкістю відноситься до класу II-а[2].

Санітарні норми параметрів мікроклімату для виробничого цеху наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Санітарні норми параметрів мікроклімату цеху

Для забезпечення санітарних норм мікроклімату і належної чистоти повітря потрібно провести:

- механізацію і автоматизацію робіт;
- дистанційне управління процесами й апаратами;
- раціональне розміщення обладнання;
- теплоізоляція обладнання, що випромінює тепло.

Дані аналізу санітарної характеристики виробничого цеху наведені у таблиці 6.2[13].

Таблиця 6.2 – Коротка санітарна характеристика виробничого цеху

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

## 6.1.2 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28-99, розряд робіт у виробничому цеху – VIII-б.

У даному цеху використовується освітлення:

- природне – комбінована система верхнього і бічного освітлення;
- штучне – система світильників;
- суміщене;
- локалізоване.

Норми освітленості наведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Норми освітлення КПО виробничого цеху

Освітленість за функціональним призначенням має системи:

- робоча;
- аварійна – спрацьовує при відключенні робочого освітлення;
- евакуаційна;
- ремонтна – при проведенні ремонтних робіт, у цеху знаходяться переносні електричні світильники;
- охоронна.

Оскільки у виробничому цеху є вибухонебезпечні зони, то для вимірювання й контролю освітленості будуть використані люксметри Ю-117.

Також на виробництві знаходиться приміщення для двох операторів пульта управління. У даному приміщенні наявні два робочих місця з обладнанням ЕОМ.

Таким чином, можемо розрахувати освітленість робочого місця операторів за методом використання світлового потоку [13]. Рівень природної освітленості – 200 лк, за освітленості тієї ж поверхні відкритим небосхилом в 20 000 лк. Отримуємо КПО = 1%, що не відповідає нормативному КПО.

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Розміри приміщення робочого місця операторів: ширина – 4 м, довжина – 7 м, висота – 4 м, площа - 28 м<sup>2</sup>.

Визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою (6.1)[11]:

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

де F - світловий потік, що розраховується, Лм; E = 300 Лк – нормована мінімальна освітленість; S = 28 м<sup>2</sup> – площа освітлюваного приміщення; Z = 1,1 - відношення середньої освітленості до мінімальної; K = 1,5 - коефіцієнт запасу; η - коефіцієнт використання світлового потоку, що характеризується коефіцієнтами відбиття від стін ρ<sub>ст</sub> = 50% і стелі ρ<sub>стелі</sub> = 50%.

Обчислимо індекс приміщення за формулою (6.2):

$$I = \frac{S}{h_p * (A + B)} = \frac{28}{1 * (7 + 4)} = 2,54, \quad (6.2)$$

де h<sub>p</sub> – розрахункова висота підвісу (h<sub>p</sub> = h<sub>1</sub> – h<sub>2</sub>, h<sub>p</sub> = 1 м).

При I = 2,54, коефіцієнт використання світлового потоку η = 0,77.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку:

$$F = \frac{300 * 1,5 * 28 * 1,1}{0,77} = 18\,000 \text{ Лм}$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ-40, світловий потік яких F = 3120 Лм. Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою (6.3):

$$N = \frac{F}{F_l} = \frac{18\,000}{3\,120} \approx 6, \quad (6.3)$$

де N – кількість ламп, що визначається; F - світловий потік; F<sub>л</sub> - світловий потік лампи.

В приміщенні використовуються світильники типу НОДЛ. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 3 світильники із 2 працюючими лампами в них.

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

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 в проектованому виробництві є наступне обладнання: електродвигуни, вентилятори. Джерелами шуму у виробництві є реактор, ректифікаційні колони, насоси.

У виробничих приміщеннях стандартний рівень звуку становить 80 дБ. Допустимий рівень вібрації в приміщенні для 1-го ступеня шкідливості - до 3 дБ, для 2-го ступеня шкоди - до 3,1 дБ, для 3-го ступеня шкоди - більше 3,1 дБ. Даний цех відноситься до 2-го ступеня вібраційної небезпеки.

Для захисту від промислового шуму встановлюють звукоізолюючі пристрої: перегородки, екрани і об'ємні звукопоглиначі у вигляді оригінальних кубів і кулі, що висять над шумогенераторами. Для зниження рівня вібрації під вібраційним обладнанням встановлені амортизатори, виготовлені зі сталевих пружин.

Як індивідуальний пристрій захисту від шуму відповідно до [7] передбачені м'які безшумні вкладки. Рукавички зі спеціальними вібраційними захисними вставками використовуються для захисту рук від впливу вібрації.

Для захисту від вібрацій, що передаються через ноги, взуття забезпечено товстою гумовою підошвою. Для вимірювання шуму та вібрації використовується вимірювач ВХФ-003.

### 6.1.4 Електробезпека

Електрообладнання у виробництві живиться від трифазної чотирипровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

380/220 В з глухим заземленим нейтралем. Для змінного струму з частотою 50 Гц максимальні допустимі значення напруги контакту і струму, що проходять через тіло людини, в аварійному режимі  $I_{л} = 6$  мА,  $U_{дот} = 36$  В; при нормальній роботі електрообладнання  $I_{л} = 0,3$  мА,  $U_{дот} = 2$  В.

Згідно з [9] порівнюють розрахункове значення із гранично допустимим значенням струму (6.4):

$$I_{л} = \frac{U_{\phi} * 10^3}{R_{л} + R_0}, \text{ мА}; \quad (6.4)$$

де  $R_{л} = 2...4$  кОм, опір тіла людини;  $R_0 = 4$  Ом, опір нейтралі заземлення;  $U_{\phi} = 220$  В, фазова напруга, В.

$$I_{л} = \frac{220 * 10^3}{4000 + 4} = 0,05 \text{ А}$$

Напруга дотику розраховується за формулою (6.4):

$$U_{д} = I_{л} * R_{л} * 10^3 = 0,05 * 4000 = 220 \text{ В} \quad (6.4)$$

Для забезпечення електробезпеки передбачені наступні технічні заходи та засоби: відключення, безпечне вимикання, низька напруга, ізоляція частин струму, розділення електричних мереж, знаки безпеки, корпуси, блокування, попереджувальні сигнали, попереджувальні плакати. Також використовується подвійна ізоляція. Виробничі приміщення передбачають періодичне тестування окремих типів дротів, освітлювальної арматури, пускачів електродвигунів та іншого електрообладнання.

Для забезпечення індивідуального захисту використовуються діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими ручками, індикатори напруги, діелектричні калоші, ізоляційні опори, гумові килимки, тимчасові огороження, захисні окуляри.

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

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

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.

На виробництві установлений трубопровід пропану, діізопропілбензолу та т ізопропілбензолу.

Пропан є вибухонебезпечним, область запалювання 2.1 - 9.5%. У нормальних умовах температура самозаймання становить 466 °С. Пропан транспортується для подальшої обробки і очищення. Пропан повинен транспортуватися залізничним, автомобільним та водним транспортом відповідно до правил перевезення небезпечних вантажів і правил експлуатації резервуарів, що працюють під надлишковим тиском[7].

Ізопропілбензол вважається небезпечним через його властивості: температура спалаху 34 °С; температура самозаймання 424 °С; Площа займання 0,9 - 6,5%. При роботі з ізопропілбензолом необхідно дотримуватися правил захисту від статичної електрики. Ізопропілбензол є продуктом цього виробництва. Вони зберігаються в сталевих резервуарах під шаром азоту і транспортуються в рідкому вигляді, в металевих ємностях, по залізниці. Наповнення резервуарів відбувається розрахунком об'ємного розширення виробу в результаті різниці температур[12].

## 6.2 Пожежна безпека

У проектованому виробництві можливими джерелами пожежі є перевантаження електрообладнання, нагрівання стінок обладнання, іскри електрообладнання та тертя деталей машин, поява електричної дуги при обриві високовольтних ланцюгів, перегрівання електрообладнання. Електрообладнання закритого типу, встановлене на заводі, має пило- і вологозахищені властивості.

У табл. 6.4 наведені показники пожежно-вибухових речовин і матеріалів та класифікація цеху пожежо- й вибухонебезпечністю [7,14]. При

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

проектуванні цеху передбачені запобіжні заходи: пожежні бар'єри у вигляді гребенів, навісів, бічних стін, вогнезахисних воріт 10 м, протипожежні водопровідні, пожежні крани, бутерброди і пожежні дошки, вогнегасники типу ВВ, ДВЗ; установлена автоматична пожежна сигналізація, захист ізоляції від теплового, механічного впливу.

Для нагрівачів передбачено використання запобіжних пристроїв (мембран, клапанів). Всі електроустановки обладнані запобіжниками від струмів короткого замикання.

Встановлена пожежна сигналізація автоматичного типу. Для захисту електрообладнання від займання використовується регулярно технічне обслуговування, фарбування електроустаткування негорючими матеріалами.

					<i>ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

Таблиця 6.4 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин та матеріалів

№			
Д			

ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ



## Висновки

Відповідно до завдання бакалаврського дипломного проекту було досліджено процес отримання ізопропілбензолу за алкілуванням бензолу пропіленом.

За допомогою розробленої схеми процесу алкілування у програмі-симуляторі ChemCad 7, були розраховані матеріальні баланси схеми.

Використовуючи програму MathCad 15, був створений програмний модуль розрахунку математичної моделі трубчастого реактора отримання кумолу, у комп'ютерному середовищі Visual Studio C#.

На основі аналізу технологічного процесу, було розроблено схему автоматизації та обрані необхідні засоби реєстрації, контролю та регулювання

Було визначено техніко-економічні показники до і після автоматизації процесу виробництва ізопропілбензолу та рентабельність його впровадження.

Проведено аналіз і визначено основні екологічні фактори небезпеки виробництва та шляхи мінімізації їх впливу.

					ДП ХА 5122 1490 001 ПЗ	60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			



10. Датчики влажности, терморегуляторы, термопары. КИПиА от производителя [Электронный ресурс] / НВК «Рэлсиб» // Каталог обладнання контрольно-вимірювальних приладів та автоматизації. – 2007. – Режим доступу до каталогу: <http://www.relsib.com/>.
11. КИПиА - контрольно измерительные приборы: датчики, контроллеры, регуляторы, измерители, терморегуляторы. Датчики температуры, давления и уровня производство КиП ОВЕН Украина Харьков [Электронный ресурс] / Компания ОВЕН // Каталог обладнання контрольно-вимірювальних приладів та автоматизації. – 2007. – Режим доступу до каталогу: <http://owen.com.ua/>.
12. Покропивний, С. Ф. Економіка підприємства [Текст] / С. Ф. Покропивний. – К.: КНЕУ, 2003. – 608 с.
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 нефтовый.: 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. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки.: ГОСТ 12.1.007-76. – [Чинний від 1976-03-10]. – М.: Міжнародний стандарт 1999. – 4 с.
17. Кумен (сполука) [Электронный ресурс]. – Режим доступу.: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD\\_\(%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BA%D0%B0\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD_(%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BA%D0%B0))