# РЕФЕРАТ

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ГІДРАТАЦІЯ ОКСИДУ ПРОПИЛЕНУ, ПРОПІЛЕНГЛІКОЛЬ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ

Пояснювальна записка 79с., 20 рис., 21 табл., 5 додатків, 23 джерел.

Темою проєкту є комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу виготовлення пропан-1,2-діолу.

Метою проєкту є проведення моделювання та автоматизації процесу виготовлення пропан-1,2-діолу гідратацією оксиду пропилену.

В проєкті обгрунтовано норми технологічних режимів, наведена технологічна схема отримання пропіленгліколю. Зроблено комп'ютерний розрахунок матераіальних балансів у програмі ChemCad 7.

Побудовано й розраховано математичну модель тарілчастої ректифікаційної колони та проведено конструктивний розрахунок апарату в інтегрованому середовищі MS Visual Studio 2020 мовою C#.

Розроблена схема автоматизації процесу та обрано технічні прилади до неї. Всього запропоновано реалізувати 13 контурів, серед яких є контури контролю та регулюваня температури, витрати, тиску та концентрації. Також присутні контури сигналізації.

Розраховано основні техніко-економічні показники виробництва пропан-1,2-діолу до і після автоматизації процесу, а також рентабельність його впровадження.

Виявлено основні фактори небезпеки виробництва пропан-1,2-діолу та шляхи мінімізації їхнього шкідливого впливу на людину.

# РЕФЕРАТ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ГИДРАТАЦИЯ ОКСИДА ПРОПИЛЕНА, ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ, МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛЛАНС, КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ

Пояснительная записка 79с., 20 рис., 21 табл., 5 приложений, 23 источников.

Темой проекта является компьютерное моделирование и автоматизация процесса изготовления пропан-1,2-диола.

Целью проекта является компьютерное моделирование и автоматизация процесса изготовления пропан-1,2-диола гидратацией оксида пропилена.

В проекте обоснованно нормы технологических режимов, приведена технологическая схема получения пропиленгликоля. Сделано компьютерный расчет матераиальних балансов в программе ChemCad 7.

Построено и рассчитано математическую модель тарельчатой ректификационной колонны и проведения конструктивный расчет аппарата в интегрированной среде MS Visual Studio 2020 на языке C #.

Разработанная схема автоматизации процесса и избраны технические приборы к ней. Всего проведено 24 контура, среди которых контуры контроля и регулировки температуры, расхода, давления и концентрации. Также присутствуют контуры сигнализации.

Рассчитаны основные технико-экономические показатели производства пропан-1,2-диола до и после автоматизации процесса, а также рентабельность его внедрения.

Исследованы основные факторы опасности производства пропиленгликоля и пути минимизации их вредного воздействия на человека.

# ABSTRACT

COMPUTER MODELING, AUTOMATION, HYDRATION OF PROPYLENE OXIDE, PROPYLENE GLYCOL, MATERIAL BALANCE, CONTROL AND REGULATION

Explanatory note 79p., 20 figures., 21 tables., 5 annexes, 23 sources.

The theme of the project is computer modeling and automation of the propane-1,2-diol production process.

The purpose of the project is to study the process of propylene glycol production by hydration of propylene oxide.

The project substantiates the norms of technological regimes, the technological scheme of obtaining propylene glycol. Computer calculation of material balances in ChemCad 7 has been performed.

The mathematical model of the plate distillation column is constructed and calculated and the constructive calculation of the device in the integrated environment MS Visual Studio 2020 in C # language is carried out.The scheme of process automation is developed and technical devices are chosen for it. A total of 24 circuits were drawn, including control and regulation circuits for temperature, flow, pressure and concentration. There are also alarm circuits.

The main technical and economic indicators of propane-1,2-diol production before and after process automation, as well as the profitability of its implementation are calculated.

The main risk factors for the production of propylene glycol and ways to minimize their harmful effects on humans have been studied.

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ..... 8

ВСТУП ..... 9

1 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ ..... 10

1.1 ВИРОБНИЦТВО ПРОПІЛЕНГЛІКОЛЮ ШЛЯХОМ ГІДРАТАЦІЇ ОКСИДУ ПРОПИЛЕНУ ..... 10

1.2 ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ..... 10

2 КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНИХ БАЛАНСІВ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ ..... 12

2.1 НАЛАШТУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА CHEMCAD ..... 12

2.1 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ У СЕРЕДОВИЩІ CHEMCAD ..... 14

3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ – ТАРІЛЧАСТОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ..... 19

3.1 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АПАРАТУ ..... 19

3.2 ОПИС ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ..... 22

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ ..... 24

4.1 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ..... 24

4.2 ОПИС СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ..... 32

КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ..... 33

КОНТУР ПЕРЕМИКАННЯ ..... 34

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ ..... 35

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ..... 48

6.1 ВИЯВЛЕННЯ І АНАЛІЗ ШНВФ НА ПРОЄКТОВАНОМУ ОБ'ЄКТІ. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ..... 48

6.2 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ..... 56

ВИСНОВКИ ..... 58

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ..... 59

ДОДАТКИ ..... 61

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ПП – пропіленгліколь;

МТБ – матеріальний баланс;

*P* – тиск;

*T* – температура;

*V* – об’єм;

ВМ – виконавчий мехінизм

ФОП – фонд оплати праці;

ОФ – основні фонди;

ОбЗ – оборотні засоби;

А – амортизація основних фондів;

С – собівартість;

П – прибуток;

Ц – ціна;

ФОП – фонд оплати праці;

КПО – коефіцієнт природнього освітлення.

# ВСТУП

Метою дипломного проекту є комп’ютерне моделювання та автоматизація процесу виробництва пропіленгліколю гідратацією оксиду пропилену, його основних технологічних параметрів, розрахунок матеріальних балансів, розробка програмного модуля розрахунку оптимальних налаштувань регулятора, розробка схеми автоматизації виробництва, аналіз його техніко-економічних показників та оцінка охорони праці на підприємстві.

Пропан-1,2-діол (пропіленгліколь) — органічна сполука з формулою C3H8O2. За звичайних умов безбарвна, майже без запаху, прозора, в'язка з слабким солодким смаком, гігроскопічна рідина.

Аерозолі водних розчинів пропіленгліколю мають бактерицидні властивості, тому пропіленгліколь застосовується для очищення повітря; служить однією з вихідних речовин для отримання лікарських препаратів (ефір пропіленгліколю і сульфаметилфенілкарбамінової кислоти) [2]. Складні ефіри пропіленгліколю і саліцилової кислоти або її похідних володіють протилихоманковою, протизапальною і аналгетичною дією. Він входить у протизапальні і бактерицидні склади для лікування захворювань носової порожнини, свищів, сінної лихоманки та ін, а також у склади для загоєння ран після глибоких опіків або дії хімічних продуктів; входить до складу препаратів заспокійливої дії, застосовуваних у ветеринарії.

В зв’язку з корисними властивостями та необхідності цього продукту актуальною темою являється автоматизація цього процесу для спрощення виготовлення без зниження якості пропіленгліколя на виході.

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ

## 1.1 Виробництво пропіленгліколю шляхом гідратації оксиду пропилену

Виготовлення пропіленгліколю гідратацією оксиду пропилену відбувається при взаємодії розчину води з оксидом пропилену.

$$C_3H_6O + H_2O \rightarrow C_3H_8O_2$$

Виробництво включає в себе такі стадії:

- Суміш оксиду пропілену та води, при температурі не вище 35°С подається в реактор колонного типу з насадкою.
- При практично повній конверсії окису пропілена утворюється 10%-й розчин пропіленгліколю.
- Розчин пропіленгліколя після нейтралізації лугом підвергається ректифікації в вакуумі.
- Повернення конденсату на рецикл.
- Відведення цільового продукту в вакуумі.

## 1.2 Хіміко-технологічна схема

Принципова технологічна схема установки для виробництва пропіленгліколя представлена на рисунку 1.1. Вода та оксид пропилену при температурі 24°С, подаються до змішувача 1, при цьому тиск у змішувачі становить 111,5 кПа. Суміш води і оксиду пропілену зі змішувача подається до реактора 2. Інтенсивність подачі води становить 277 кмоль/год. Оксид пропилену подається в кількості 68 кмоль/год [2]. Температура в реакторі також дорівнює 24°С (ізотермічні умови, потік продукту має ту ж саму температуру, що і температура в реакторі). Тиск в реакторі також дорівнює 111,5 кПа.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема отримання пропан-1,2-діолу (гідратацією оксиду пропилену):
1 – змішувач; 2 – реактор; 3 – колона ректифікації; 4 – дефлегматор; 5 – теплообмінник - випаровувач; 6 – насос.
I – вода; II – оскид пропилену; III – пропан-1,2-діол.

Після цього в потоці суміші утворюється частина пропіленгліколю, але в недостатній кількості як для цільового продукту. Для отримання необхідної якості та кількості пропіленгліколю, суміш подається на розділення до ректифікаційної колони 3. Тиск в колоні дорівнює 101.3 кПа, На виході отримуємо 99.5% - розчин пропан-1,2-діолу в кубовому залишку та воду в дистиляті, яка в подальшому знову використовується у виробництві. Вода подається на рецикл до змішувача.

# 2 КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНИХ БАЛАНСІВ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ

## 2.1 Налаштування середовища ChemCad

На початку роботи в ChemCad необхідно налаштувати програму відповідно до властивостей компонентів та реакцій, що протікають в процесів.

1) Задаємо розмірності програми:

У вкладці Engineering Units обираємо розмірності в системі одиниць СІ (рис. 2.1).

Рисунок 2.1 – Вікно налаштувань розмірностей одиниць

2) Додамо необхідні для моделювання речовини.

Для того, щоб отримати список речовин, що містяться в програмі: обираємо пункт меню Thermophysical, де необхідно натиснути Select Components.

Знаходимо речовини необхідні для моделювання процесу (рис. 2.2): вода, оксид пропилену та пропіленгліколь.

3) Обираємо знайдені речовини, використані на схемі.

Хімічні апарати також представлені в програмі (рис 2.3), їх можна використати моделювання процесу.

Рисунок 2.2 – Вибір компонентів

Рисунок 2.3 – Бібліотека апаратів у ChemCad

4) Додавання та налаштування вхідних та вихідних потоків.

Останнім кроком при побудові технологічної схеми є додавання та налаштування вхідних та вихідних потоків. При побудові технологічної схеми у її лівій частині до розміщення апаратів необхідно налаштувати вхідні потоки, які зображено піктограмою Feed. Після додавання вхідного потоку поруч з піктограмою автоматично з'являється її ID – назва потоку. Останнім кроком є додавання вихідного потоку на схему – Product. Вихідні потоки прийнято додавати після апаратів, з правого боку.

## 2.1 Розрахунок матеріального балансу у середовищі ChemCAD

Розрахунок матеріальних балансів проводять з метою дотримання всіх необхідних витрат та для отримання необхідної кількості цільового продукту. Розраховують теплові та матеріальні баланси, ступені перетворення речовин, ентальпій, енергії активації, продуктивність речовин, на всіх потоках схеми виробництва.

У цьому розділі розраховано матеріальні баланси процесу отримання пропіленгліколю шляхом гідтратації оксиду пропилену, знаходження витрат всієї схеми та для кожного апарату окремо.

Для проведення комп'ютерного розрахунку матеріальних балансів використовуємо програму – симулятор ChemCad 7.1.2, де розроблена схема процесу, яка наведена на рисунку 2.4. Початкові витрати сировини представлені на таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Початкові витрати сировини

Рисунок 2.4 - Схема отримання пропан-1,2-діолу у програмі ChemCad 7.1.2.

В отриманій схемі виробництва застосовано моделі апаратів, які найбільш точно відображаються властивості існуючих апаратів та мають вплив на матеріальний баланс.

Список застосованих моделей та їх вхідних та вихідних потоків наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Використані моделі апаратів у схемі ChemCad

Описання застосованих апаратів:

Stream mixer (1) – змішувач вхідних потоків. До нього подаються вхідні речовини (вода та оксид пропилену) та відпрацьована вода з рециклу. Змішує речовини з вхідних потоків, та утворює один. Тиск в змішувачі становить 111.5 кПа. Налаштування змішувача представлені на рисунку 2.5

Рисунок 2.5 – Налаштування змішувача

Equilibrium Reactor (2) – кінетичний реактор, у якому протікає реакція утворення пропіленгліколю в малих кількостях при температурі 24°C.

Рисунок 2.6 – Налаштування реактору

Shortcut Column (3) – ректифікаційна колона, в якій відбувається розділення 99.5% - розчину пропіленгліколю та води.

Рисунок 2.7 – Налаштування ректифікаційної колони

Component separator (4) – сепаратор, що розділяє воду, яка подається на рецикл для подальшого використання в процесі, та непрореагованих залишків оксиду пропилену та пропіленгліколю.

На основі розробленої схеми у програмі ChemCad, розраховано матеріальні баланси процесу отримання пропіленгліколю. Розраховані значення витрати потоків наведено у таблицях 2.3 – 2.7

Таблиця 2.3 - Матеріальний баланс змішувача (кг/год)

Таблиця 2.4 - Матеріальний баланс реактору (кг/год)

Таблиця 2.5 - Матеріальний баланс ректифікаційної колони (кг/год)

Таблиця 2.6 - Матеріальний баланс сепаратору (кг/год)

Таблиця 2.7 - Матеріальний баланс технологічної схеми (кг/год)

В таблиці 2.7 наведеній загальний матеріальній баланс по входам та виходам зі схеми.

На основі даних розрахунків робимо висновок, що сума вхідних та сума вихідних потоків однакові, тому матеріальний баланс процесу виготовлення пропіленгліколю розраховано вірно.

# 3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ – ТАРІЛЧАСТОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

## 3.1 Розрахунок параметрів апарату

Рівняння матеріального балансу ректифікаційної колони безперервної дії:

$$G_F x_F = G_D x_D + G_D x_D \qquad (3.1)$$

Рівняння робочих ліній:

Верхної частини ректифікаційної колони:

$$y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_D}{R+1} \qquad (3.2)$$

Нижньої частини ректифікаційної колони:

$$y = \frac{R+F}{R+1} x - \frac{F-1}{R+1} x_w \qquad (3.3)$$

Мінімальне число флегми $R_{min}$ в ректифікаційній колоні безперервної дії, коли крива рівноваги не має точок перегину, визначають за рівнянням:

$$R_{min} = \frac{X_D - Y_F}{Y_F - X_F} \qquad (3.4)$$

Визначення діаметру тарільчастої ректифікаційної колони відбувається за рівнянням:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0.785w}} \qquad (3.5)$$

де V – витрата пару, м$^3$/с. w – швидкість пару, м/с.

Визначення висоти тарільчастої ректифікаційної колони (відстані $H_T$ між верхніми та нижніми тарілками) проводяться за рівнянням:

$$H_T = (n-1)h$$

де n – число тарілок в колоні; h – відстань між тарілками.

Для розрахунку потрібного числа тарілок треба розрахувати ККД колони:

$$n = \frac{n_T}{\mu}$$

Всі розрахунки було зроблено в програмі MathCad. Детальніше описано в додатку 2.

Спочатку задаємось вихідними даними:

Продуктивність по вихідній суміші, кг/ 9356

Зміст летючого компонента, мас. частки

у вихідній суміші 0.446

у дистиляті 0.995

у кубовому залишку 0.0001

Рисунок 3.1 – Рівновага системи пропіленгліколь – вода [3]

Основні фізичні властивості компонентів взято з [3].

Спочатку потрібно знайти коефіцієнт летючості висококиплячого компоненту.

Рисунок 3.2 – Розрахунок коефіцієнту летючості ВКК

Після цього розраховуємо мінімальне та робоче флегмове число.

Рисунок 3.3 – Розрахунок робочого флегмового числа апарату

Далі, за допомогою інтерполяції знаходимо середні значення температури пару у верхній та нижній частинах колони. Після цього визначаємо діаметр колони. За розрахунками, діаметр обичайки колони d = 1м.

Після визначення діаметру колони, необхідно розрахувати кількість тарілок та висоту ректифікаційної колони.

Рисунок 3.4 – Розрахунок кількості тарілок та висоти колони

У ході виконання даного розділу, на основі інформації, знайденої на сторінках рекомендованої літератури та інтернету, розроблений програмний модуль для розрахунку основних параметрів ректифікаційної колони в середовищі для виконання різноманітних математичних і технічних розрахунків – Mathcad. Розраховано матеріальний баланс та проведено конструктивний розрахунок апарату. Для виготовлення пропіленгліколю необхідна тарілчаста ректифікаційна колона з сітчатими тарілками з такими параметрами:

Таблиця 3.1 - Основні конструктивні дані ректифікаційної колони

## 3.2 Опис програмного модуля

Після розрахунку головного апарата (ректифікаційної колони) процесу отримання пропіленгліколю, було також розроблено програмний модуль в середовищі Visual Studio на мові C#.

Проєкт “Column Calculation” складається з: “Form1.cs” та “Help.cs”

Основні розрахунки проведено в “Form1.cs”. “Help.cs” – інструкція користувача, в якій описано як правильно користуватися програмою.

Основними елементами програмного модуля є:

- groupBox – головне поле, яке містить в собі підрядні йому елементи;
- menuStrip – допоміжне меню, яке викликає додаткові функції програми: інструкція користувача, довідка про програму, вихід з програми;
- label – текстове поле;
- textBox – поле для запису змінних;
- Button – виклик події.

За допогою обраних елементів створено процедури, які проводять конструктивний розрахунок тарілчастої ректифікаційної колони при зручному та інтуїтивно-зрозумілому інтерфейсі.

Спочатку користувачеві необхідно вписати початкові дані процесу: масову частку летючого компоненту, тобто води в сировині – на вході в ректифікаційну колону, та в дистиляті. Також слід вказати витрату сировини в кг/год.

Рисунок 3.5 – Програма конструктивного розрахунку ректифікаційної колони для отримання пропан-1,2-діолу.

Далі слід натиснути кнопку “Розрахувати”. Після чого проводиться основний розрахунок апарату. Головні дані колони після розрахунку з’являться нижче.

Досить проста програма для користувача зі складним методом розрахунку дозволяє користуватися нею навіть недосвідченим користувачам.

Рисунок 3.6 – Інструкція користувача

Також програма містить в собі інформацію про версію, автора та короткий опис програми.

Рисунок 3.7 – Вікно “Про програму”

Таким чином проведено конструктивний розрахунок ректифікаційної колони.

# 4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ

## 4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми

Автоматизація - це процес розвитку машинного виробництва, в якому функції контролю та управління, що раніше виконувала людина, передаються автоматичним пристроям і приладам. Введення автоматизації на виробництві дозволяє підвищити продуктивність праці, забезпечити високу якість продукції, що випускається, скоротити частку робочих, зайнятих в різних сферах виробництва.

Автоматизація технологічних процесів в рамках одного виробничого процесу дозволяє організувати основу для впровадження систем управління виробництвом і систем управління підприємством.

В хімічному виробництві процеси і операції проходять в машинах та апаратах, які призначені для цілеспрямованої переробки вхідних речовин, та сировини в продукти, через хімічні перетворення.

Керування процесом в хімічній технології дуже важливе. Це пов’язано зі складністю протікання процесу, шкідливими умовами та агресивними речовинами, що протікають в ХТП, пожеженебезпечністю речовин, перепадом температури та тисків під час протікання ХТП та інших чинників.

Метою даного розділу є проведення автоматизації виробництва, що є основою науково – технічного прогресу, тому що надає можливість контролювати та регулювати показники, які безпосередньо впливають на якість кінцевого продукту, зменшити кількість сировини та енергії, необхідної для виробництва.

Основне завдання – підтримка необхідних технологічних параметрів.

Аналіз технологічної схеми показав, що метою процесу є отримання пропан-1,2-діолу заданої якості. Основними апаратами є реактор та

ректифікаційна колона, в яких необхідно підтримувати заданий тиск та температуру.

Допоміжно необхідно контролювати проміжні потоки, та потік на виході, параметри в змішувачі (концентрацію, тиск), в дефлегматорі та теплообміннику (температуру), рівень в ректифікаційній колоні.

Для забезпечення найбільшої продуктивності виробничого процесу та високої якості цільового продукту, прийнято рішення проводити контроль та регулювання наступних параметрів [4]:

- Витрати води та оксиду пропілена, що подаються в змішувач;
- Концентрацію речовин, що надходять до реактору;
- Температуру та тиск в реакторі та ректифікаційній колоні;
- Витрати речовин, що надходять і виходять з ректифікаційної колони;
- Температуру в дефлегматорі та теплообміннику;
- Якість (концентрацію) отриманого цільового продукту.

Таблиця 4.1 – Параметри регулювання та контролю процесу отримання пропіленгліколю

Продовження таблиці 4.1

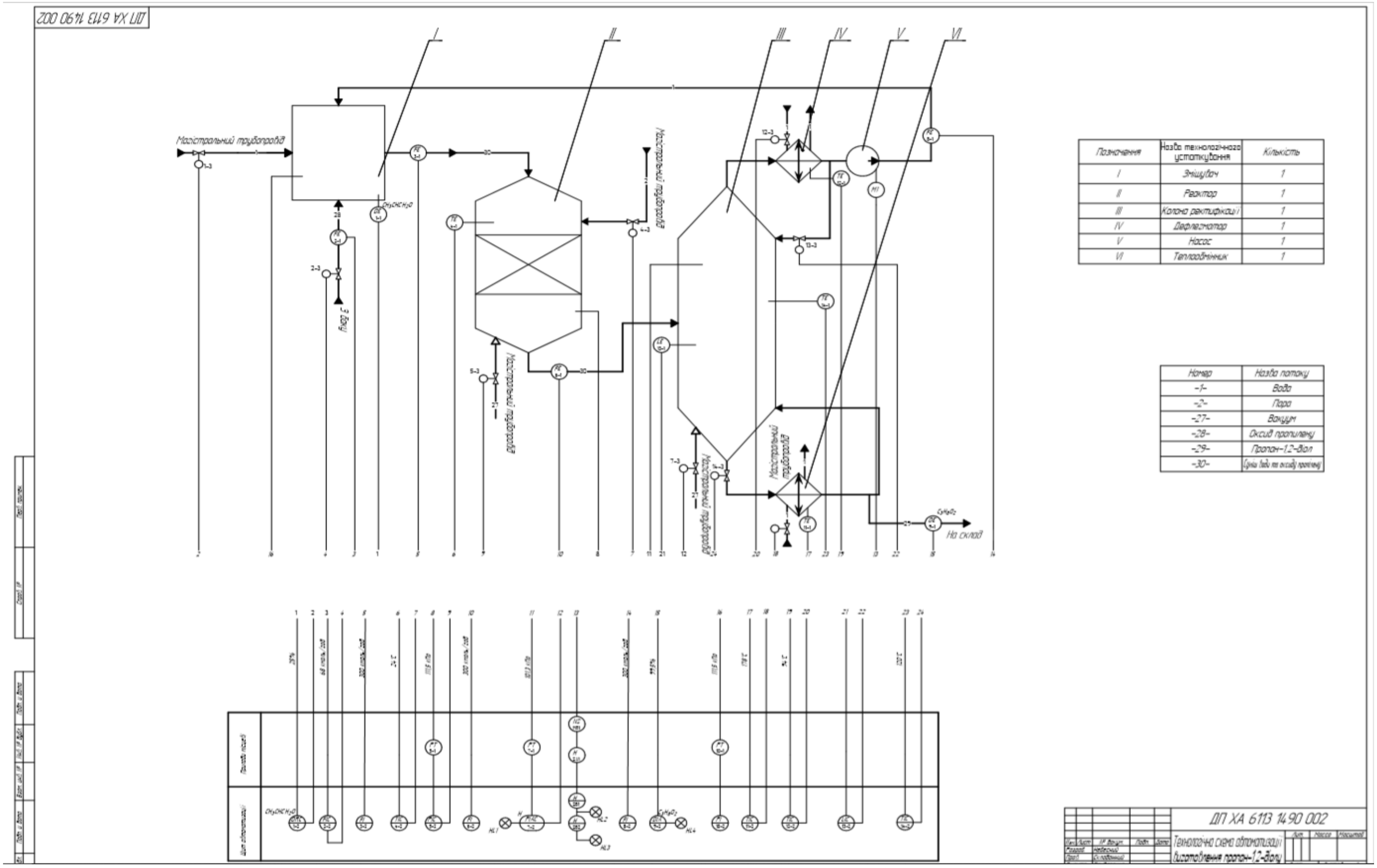
В результаті було розроблено схему автоматизації, яка складається з 9 контурів регулювання, та 4 контурів контролю (витрата, тиск, рівень, температура) (рис. 4.1).

При виборі приладів та засобів автоматизації слід дотримуватись наступних правил [12]:

- Для регулювання однакових параметрів технологічного процесу застосовуються однотипні засоби автоматизації;
- Клас точності приладів повинен відповідати технологічним вимогам;
- Діапазон вимірювання приладів повинен відповідати діапазону технологічних параметрів, що регулюються.

Тому для автоматизації процесу виготовлення пропіленгліколю були вибрані технічні засоби автоматизації за каталогами відповідних виробників [13-18].

Специфікація до обраних засобів наведена в додатку Д.




| Позначення | Назва технологічного устаткування | Кількість |
|---|---|---|
| I | Змішувач | 1 |
| II | Реактор | 1 |
| III | Колона ректифікації | 1 |
| IV | Дефлегматор | 1 |
| V | Насос | 1 |
| VI | Теплообмінник | 1 |

| Номер | Назва потоку |
|---|---|
| -1- | Вода |
| -2- | Пара |
| -27- | Вакуум |
| -28- | Оксид пропилену |
| -29- | Пропан-1,2-діол |
| -30- | (суміш води та оксиду пропилену) |

Рисунок 4.1 – Схема автоматизації

## 4.2 Опис системи автоматизації

### Контроль та регулювання температури

Найбільш важливим фактором, який впливає на продуктивність керування процесу та отримання цільового продукту є підтримка заданої температури в апаратах. В даній схемі необхідно підтримувати температуру в алкілаторі, переалкілаторі, сепараторі, холодильнику.

Для вимірювання температури з необхідною точністю було обрано термометр опору марки ТСМ- ll87 (поз. 4-l, l1-l, 12-l, l4-l), який використовується для вимірювання температури у рідких та газоподібних речовинах з малою похибкою, перетворюючи опір у сигнал виду 4 – 20 мА, діапазон вимірюваної температури складає від -50ºС до 200ºС. Отриманий сигнал з термоперетворювача передається ПІД-регулятор марки ТРМ10 (поз. 4-2, 11-2, 12-2, 14-2).

ВМ марки МЭО-40, регулює температуру середовища у реакторі, ректифікаційній колоні, теплообміннику та дефлегматорі (поз. 4-3, 11-3, 13-3, 14-3).

### Контроль та регулювання витрат

Для контролю та регулювання витрати в контурах 2, 3, 6, 8 використовується витратомір марки Н250 М40 (поз. 2-l, 3-l, 6-1, 8-l), діаметр умовного проходу 15 – 200 мм, температура вимірюваного середовища від -196 до 400 °С, прилад включає в себе вбудований первинний перетворювач у вихідний сигнал 4 – 20 мА.

На регулятор ТРМ10 (поз. 2-2, 3-2), приходить сигнал, з витратоміру, він відображає значення витрати, і надсилає регулюючий вплив на ВМ марки МЭО-40 (поз. 2-3, 3-3).

Контур 6 виконує функцію контролю проміжних витрат, на вимірювач 2ТРМ0 приходить сигнал, з витратоміру на трубопроводі (поз. 6-2, 8-2).

**Контроль та регулювання тиску**

Значення тиску, також є дуже важливим параметром для підтримання якості виходу. Для контролю тиску в контурах 5, 7 та 10 використано вимірювальний перетворювач тиску марки РС-28 (поз. 5-l, 7-l, 10-l), який використовується для вимірювання тиску від 0 до 4 МПА в рідких і газоподібних середовищах, вихідний сигнал манометру 0 – 20 мА. Цифровий манометр передає сигнал на ПІД-регулятор ТРМ10 (поз. 5-2, 7-2, 10-2). Для сигналізації верхньої межі тиску використовуються індикаторні лампи марки ЛС 47-2 (поз. HLl).

**Контроль та регулювання рівня**

Для контролю та сигналізації рівня в контурі 13 використовується промисловий рівнемір марки OPTIFLEX 1300 (поз. 13-l), температура вимірюваного середовища -50 – 300°С, точність 0.3 і максимальна висота ємності до 35м. Прилад включає в себе вбудований первинний перетворювач в уніфікований вихідний сигнал 4 – 20 мА. Отриманий сигнал з рівнеміру передається на показуючий ПІД – регулятор марки ТРМ10 (поз. 13-2), який відображає вимірюваний рівень та передає сигнал на ПІД-регулятор ТРМ10 (поз. 13-3).

**Контроль та регулювання концентрації**

Комплект для вимірювання концентрації КАЦ-021МС (поз. 1-1, 1-2, 1-3, 9-1, 9-2) контролює концентрацію оксиду пропилену в змішувачі. Крім цього також регулює концентрацію цільового продукту та має сигналізація ЛС-47

(поз. HL4).

**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 ЛС-47 (поз. HL2, HL3). Розроблена схема автоматизації забезпечує проведення процесу отримання пропіленгліколю в регламентованому режимі.

Розроблена схема дозволить вести технологічний процес виготовлення пропіленгліколю за технологічними нормами.

# 5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОПАН-1,2-ДІОЛУ

Основною метою даного розділу є проведення економіко – технічних показників, що демонструють доцільність створення цеху на підприємстві для отримання пропіленгліколю в умовах ринкової економіки.

Виробничі процеси підприємства бувають основними, допоміжними, підсобними та бічними. (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Виробничі процеси.

Предмети праці – це сировина і матеріали, електроенергія і паливо, напівфабрикати і запасні частини, гроші у будь-якому вигляді.

Послідовний рух предметів праці, це такий рух, під час якого обробка продукції проводиться послідовно на кожній стадії з наступною передачею на чергову стадію цієї партії предметів, що обслуговується.

Рисунок 5.1 – Технологічна схема процесу отримання пропіленгліколю.

Паралельний рух предметів праці використовується безпосередньо в безперервних процесах при масовому виробництві продукції. Продукція передається з попередньої на наступну операцію, не очікуючи закінчення обробки всієї партії.

Синхронізований рух предметів праці. В цьому випадку вироби передаються з однієї стадії на іншу за певним законом.

Для визначення оптимального виду руху предметів праці складають перелік основних технологічних операцій.

Таблиця 5.2 – Перелік основних технологічних операцій

Продовження таблиці 5.2

$$\sum_{i=1}^{n} t_i = 30 + 10 + 40 + 70 + 30 = 180 \text{ хв}$$

За один завершений цикл, тривалістю в 180 хв, виготовляється одна партія цільового продукту. Режим роботи підприємства безперервний.

Послідновний ВРПП

Рисунок 2.2 – Графік послідовного ВРПП.

$$T_{вц} = n\sum_{i=1}^{m} t_i, \quad (5.1)$$

де В – кількість виробів за день,

m – кількість операцій

ti – тривалість операцій

$$В = \frac{Т_{вц}}{\sum_{i=1}^{m} t_i} = \frac{1440}{180} = 8$$

Тривалість виробничого циклу, використовуючи послідовний рух предметів праці буде дорівнювати:

$$T_{вц} = 8 * 180 = 1440 \text{ хв}$$

Висновок: при послідовному ВРПП буде виготовлено 8 партій продукції за 1440 хв, при цьому, буде задіяна 5 од. обладнання та 1 оператор лінії.

Паралельний ВРПП

Рисунок 2.3 – Графік паралельного ВРПП.

$$В = \frac{t_{міс} - \sum t_i}{t_{max}} + 1 = \frac{1440 - 180}{70} + 1 = 19 \ {}^{партій}/_{день}$$

При паралельному руху продуктів праці буде задіяно 5 од. обладнання та 5 робітників.

Синхронізований ВРПП

Беремо ритм як тривалість найкоротшої стадії: R = 10 хв.

$$\text{В} = \frac{t - \sum t_i}{R} + 1 = \frac{1440 - 180}{10} + 1 = 127 \ {}^{\text{партії}}/_{\text{день}}$$

$$N_{\text{обл}} = \frac{\sum t_i}{R} = \frac{180}{10} = 18 \text{ од.}$$

Отже, проаналізувавши графіки та розрахунки, бачимо, що оптимальним є послідовний ВРПП, так як при паралельному та синхронізованому для виробництва протрібна велика кількість обладнання та працівників, що його обслуговують, що сприяє великим фінансовим витратам.

Середньорічна тривалість виробничого циклу для обраного (послідовного) ВРПП складає:

$$\text{Т}_{\text{вц}}^{\text{сер.річн.}} = \frac{24 \cdot \text{Д}_{\text{к}}}{\text{Т}_{\text{р}} \cdot \text{Д}_{\text{р}}} \cdot \text{Т}_{\text{вц}}^{\text{посл}} = \frac{24 \cdot 365}{24 \cdot 365} \cdot 24 = 24 \text{ годин,}$$

де $\text{Д}_{\text{р}}$ – кількість робочих днів у році, $\text{Т}_{\text{р}}$ – тривалість робочого дня в компанії, $\text{Д}_{\text{к}}$ – кількість календарних днів у році, К – коефіцієнт використання робочого часу.

Кількість виробничих циклів на рік:

$$n_{\text{вц}} = \frac{\text{Д}_{\text{к}} \cdot \text{Т}_{\text{к}}}{\text{Т}_{\text{вц}}^{\text{сер.річн.}}} = \frac{365 \cdot 24}{24} = 365$$

Річний випуск продукції (за умови, що кожна партія = 15000 кг пропіленгліколю:

$$\text{В}_{\text{р}} = n_{\text{вц}} \cdot \text{В} = 365 \cdot 8 \cdot 15 = 43\,800 \text{ т.}$$

Кількість одиниць обладнання при даному виді руху предметів праці дорівнює кількості операцій, тому для даного виробничого процесу необхідно 5 одиниць обладнання.

**Чисельність персоналу. Графік змінності**

Робочий день триває 6 годин, так як присутні шкідливі умови праці. Персонал, що безпосередньо працює для підтримання безперервного режиму

роботи підприємства складається з 3 чоловік: інженер-технолог зміни, оператор пульта керування, охоронець.

Явочна чисельність персоналу – це кількість персоналу, яка максимально допустима та необхідна для виконання обсягу робіт і повної комплектації робочих місць протягом зміни. Явочна чисельність персоналу – 3 працівників за зміну. Чисельність за списком – це потреба підприємства у кадрах. Тривалість роботи цеху за рік:

$$\text{Т}_{\text{р}}^{\text{підприємства}} = 365 * 24 = 8760 \text{ год/рік}$$

Тривалість роботи працівника за рік:

$$\text{Т}_{\text{р}}^{\text{працівника}} = \frac{365 - T_{св}}{7} \cdot 36 = \frac{365 - 11}{7} \cdot 36 = 1820 \text{ годин};$$

$$\text{Ч}_{\text{сп}} = \text{Ч}_{\text{яв}} \cdot \frac{\text{Т}_{\text{р}}^{\text{підприємства}}}{\text{Т}_{\text{р}}^{\text{працівника}}} = 3 \cdot \frac{8760}{1820} = 15 \text{ працівників}$$

Кількість бригад:

$$N_{\text{бр.}} = \frac{\text{Т}_{\text{р}}^{\text{підприємства}}}{\text{Т}_{\text{р}}^{\text{працівника}}} = 4{,}81 \text{ бригади}$$

Беремо 5 бригад. Тоді недопрацювання буде вирахувано з зарплати робітників і складатиме:

$$\text{Т}_{\text{недопрац.}} = 1820 - 1752 = 68 \ \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Графік роботи матиме наступний вигляд:

I зміна – 6:00 – 12:00;

II зміна – 12:00 – 18:00;

III зміна – 18:00 – 00:00;

IV зміна – 00:00-06:00.

Таблиця 5.3 – Графік роботи технологічних змін підприємства.

Порядок технічного контролю на виробництві

Технічний контроль – сукупність методів, заходів і засобів, що забезпечують відповідність якості продукції вимогам стандартів і нормативів. Технічний контроль на даному виробництві поділяється на вхідний і заключний.

Вхідний контроль. Суб'єктом даного етапу контролю є технолог зміни. Об'єктами контролю є сировина, що безпосередньо задіяна у виробництві. Перевіряються такі властивості, як чистота і прозорість рідин (води та оксиду пропілену). Результати контролю заносять в журнал вхідного контролю підприємства.

Поточний контроль. Суб'єктом контролю є оператор лінії. Об'єктом контролю є обладнання підприємства (апарати та трубопроводи). Оскільки обраний рух предметів праці з простоєм обладнання, то у період цього часу оператор лінії стежить за станом обладнання та за щитом автоматизації, на якому знаходяться всі необхідні для якісного виробництва показуючі прилади важливих показників (витрати компонентів, температура та тиск в реакторі, ректифікаційній колоні та ін.). Результати контролю заносять в журнал поточного контролю якості.

Заключний контроль. Суб'єктом контролю є інженер-технолог зміни, який досліджує отриману речовину – продукт. Вимірюється концентрація пропіленгліколю. Результати дослідження заносяться до журналу заключного контролю. Оформляється паспорт якості отриманої продукції.

Вартість основних фондів

Таблиця 5.4 – Вартість основних фондів на підприємстві.

Загальна вартість основних фондів:

ОФ = 1 500 000 + 1 250 000 + 25 000 = 2 775 000 грн.

Амортизаційні відрахування:

А = 75 000 + 250 000 + 6250 = 331 250 грн/рік

Розрахунок витрат на електроенергію

$$З_{\frac{е}{е}} = \sum \left(Т_{рег} \cdot T\right) \cdot P_{обл}^{річ},$$

де $Т_{рег}$ – тарифна ставка за регульованим тарифом: $Т_{рег}$= 2,69 грн./(кВт год.) – денний період, $Т_{рег}$= 1,5 грн./(кВт год.) – в нічний період.

$Р^{річ}_{об}$ – річна потужність обладнання, 8600 кВт год. (сумарна по всьому технологічному обладнанню).

Підприємство працює цілодобово 365 днів на рік. Річні витрати на електроенергію:

$$З_{\frac{е}{е}} = (2{,}69 \cdot 4380) \cdot 8600 + (1{,}5 \cdot 4380) \cdot 8600 = 157\,828\,920\ \frac{грн}{рік}$$

Витрати на опалення цеху. Загальна площа: 1200 м$^2$; тарифна ставка на опалення: 40 грн./м$^2$ міс; Сезон опалення: 6 місяців.

$$З_{опал.} = 1200 \cdot 40 \cdot 6 = 288\,000 \frac{грн}{рік}$$

Розрахунок оборотних фондів.

Таблиця 5.5 – Розрахунок витрат на сировину

Сумарні річні витрати на сировину та доставку складають:

504 702 680 грн/рік

Заробітна плата персоналу

Таблиця 5.6 – Заробітна плата персоналу

Вартість оборотних засобів таким чином становить:

ОбЗ = 504 702 680 + 2 562 000 + 157 828 920 + 288 000 = 665 381 600 грн/рік

**Розрахунок техніко-економічних показників**

Вартість основних фондів:

ОФ = 2 775 000 грн/рік.

Амортизація:

А = 331 250 грн/рік.

Виробнича собівартість:

Св = А + ОбЗ = 331 250 + 665 381 600 = 665 712 850 грн / рік.

Повна собівартість:

Сп = Св * 1,8 = 1 198 283 130

Заплановано випускати 43 800 т. продукції за рік. Ціна пропіленгліколя за тону дорівнює 32 000 грн/т.

Запланована сумарна ціна продукції: Ц = 1 401 600 000 грн/рік

Прибуток складатиме:

П = Ц – Сп = 1 406 600 000 –1 198 283 130 = 208 316 870 грн/рік

Рентабельність:

Р = П / Сп = 17%

Капітіловкладення:

К = ОФ + ОбЗ = 2 775 000 + 665 712 850 = 668 487 850 грн

Коефіцієнт економічної ефективності:

Е = П/К = 0,312

Термін повернення капіталовкладень:

Т = 1 / Е = 3,2 роки.

Фондовіддача:

ФВ = Ц / ОФ = 1 226 400 000 / 2 775 000 = 505,08 грн/грн.

Фондоємність:

ФЄ = 1 / ФВ = 0,00198 грн/грн.

**Розрахунок техніко економічних показників після автоматизації процесу добування пропан-1,2-діолу**

Після проведення технологічних розрахунків та встановлення нового обладнання, витрати основних компонентів зменшилися. Якщо раніше потрібен був оператор лінії та інженер-технолог зміни, то тепер потрібен тільки інженер-технолог, $Ч_{яв}$ = 2 осіб.

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} \cdot \frac{T_р^{підприємства}}{T_р^{працівника}} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ працівників}$$

Затрати на сировину тепер складають: 486 820 000 грн/рік. Причиною тому стало зменшення витрати сировини безпосередньо у виробництві товару за рахунок введення автоматизації.

Таблиця 5.7 – Заробітна плата персоналу після автоматизації

Розрахуємо нові техніко-економічні показники після проведення автоматизації на підприємстві.

Вартість основних фондів дещо виросла, тому що було встановлено нове обладнання:

Таблиця 5.8 – Вартість основних фондів після автоматизації виробництва

Загальна вартість основних фондів:

ОФ = 1 500 000 + 1 250 000 + 25 000 + 225 000 = 3 000 000 грн.

Амортизація: А = 300 000 + 6 250 + 75 000 = 376 250 грн/рік.

Виробнича собівартість:

Св = А + ОбЗ = 376 250 + 646 605 270 = 646 981 520 грн / рік.

Тоді повна собівартість:

Сп = 646 981 520 * 1.8 = 1 164 566 736 грн / рік

Заплановано випускати 43 800 т. продукції за рік. Ціна пропіленгліколя за тону дорівнює 32 000 грн/т. Запланована сумарна ціна продукції:

Ц = 1 401 600 000 грн/рік

Прибуток складатиме:

П = Ц – С = 1 401 600 000 – 1 164 575 736 = 237 033 264 грн/рік

Рентабельність:

Р = П / С = 20,4%

Капітіловкладення:

К = ОФ + ОбЗ = 3 000 000 + 646 605 270 = 649 605 270 грн

Коефіцієнт економічної ефективності:

Е = П/К = 0,365

Термін повернення капіталовкладень:

Т = 1 / Е = 2,74 роки.

Фондовіддача:

ФВ = Ц / ОФ = 1 401 600 000 / 3 000 000 = 467.2 грн/грн.

Фондоємність:

ФЄ = 1 / ФВ = 0,0021 грн/грн.

Отже, проведення на виробництві автоматизації процесу отримання пропіленгліколю значно покращила економічну ситуацію:

- Зменшення чисельності працівників;
- Зменшення собівартості і як наслідок збільшення прибутку;
- Збільшення рентабельності;
- Зменшення капіталовкладень та термін їх повернення;
- Збільшення показника економічної ефективності.

# 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

За даними технологічної схеми проєкту випливає, що у виробництві присутні шкідливі пожежонебезпечні речовини і матеріали, механічна, теплова та електрична енергія, висока температура в деяких апаратах. Всі проєктні рішення прийнято з урахуванням вимог охорони праці.

В цьому розділі досліджено комплекс шкідливих і небезпечних факторів, виявлених під час моделювання проєкту та розроблено заходи, направлені на мінімізацію шкідливого впливу та створення безпечних умов праці та пожежної безпеки.

## 6.1 Виявлення і аналіз ШНВФ на проєктованому об’єкті. Заходи з охорони праці

### 6.1.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99, робота, яка виконується на даному підприємстві, відноситься до категорії середньої тяжкості (IIб).

Таблиця 6.1. Санітарні норми параметрів мікроклімату

Нормальні умови на даному виробництві забезпечуються за рахунок автоматизації і механізації важких та трудомістких робіт, раціонального розміщення та теплоізоляції устаткування, агрегатів, комунікації та інших джерел, що випромінюють на робочих місцях тепло.

Проєктом передбачено наступні засоби індивідуального захисту: спецодяг типу "П" респіратори типу "Пелюсток", і спецвзуття. Також двічі на місяць за допомогою пиломіра передбачено проводити контроль вмісту у повітрі робочої зони шкідливих речовин та їх параметрів.

Для очищення повітря в умовах виробництва передбачено:

1. механічна загальнообмінна припливна вентиляція, що безпосередньо подає до приміщення чисте вентильоване повітря. Припливне повітря піддається спеціальній обробці (очищенню, нагріванню тощо);
2. витяжна вентиляція, що виконує роль витягування з цеху забрудненого або нагрітого відпрацьованого повітря.

На підприємстві передбачено аварійну вентиляцію, що діє тільки у разі аварії і реалізується вентиляцією для забезпечення розрідження в приміщенні. Вона приводиться в дію як від датчиків автоматично, так і вручну.

Для запобігання переохолодження і застудних захворювань робітників, при вході в цех присутні теплові повітряні завіси.

Для зменшення виділення шкідливих речовин в повітря робочої зони передбачаються наступні заходи:

1. для зменшення концентрації шкідливих речовин в робочій зоні приготування і подача сировини здійснюватиметься при увімкненій місцевій вентиляції;
2. для запобігання вибухонебезпечних ситуацій, при роботі з сировиною, виконується пофарбування трубопроводів по всій довжині для розпізнавання.
3. контейнери з сировиною будуть щільно закритими і захищеними від зовнішнього впливу.

### 6.1.2 Виробниче освітлення

Передбачено використання систем суміщеного (природного комбінованого, штучного загального, а також робочого, аварійного, евакуаційного, ремонтного і охоронного освітлення. Система природного освітлення – комбінована (сполучення верхнього та бічного освітлення).

Таблиця 6.2. Норми освітленості і КПО цеху згідно ДБН В.2.5-28:2018

Для освітлення виробничого цеху використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ–40(G13) та ЛБ–60(G13). Також на виробництві передбачено аварійне і евакуаційне освітлення, для якого використають світильники прямого типу "Альфа". Для виміру і контролю освітленості в приміщеннях використовують люксметри Ю–117.

При аварійному освітленні мінімальна освітленість становить 5 % від нормованої, не менше 2 лк. Для евакуації персоналу передбачено освітлення на підлозі основних проходів та на сходах не менше 0,5 лк, на відкритих майданчиках – не менше 0,2 лк.

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

Таблиця 6.3 – Норми штучного та природного освітлення робочого приміщення

Рисунок 6.1 – Схема операторної кімнати виробництва

Розрахунок штучного освітлення виконаємо для приміщення площею 15м$^2$, ширина А якої складає 3м, довжина В – 5м, висота - 3м. Скористаємося методом використання світлового потоку . Для визначення потрібної кількості світильників, що повинні забезпечити задовільний рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою [22]:

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

де F - світловий потік, що розраховується, Лм;

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

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

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

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

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

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

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

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

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

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку:

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

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

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

де N – кількість ламп, що визначається;

F - світловий потік;

Fл - світловий потік лампи.

Схема розташування світильників в операторській (приміщення на рисунку 6.1) зображена на рисунку 6.2.

Рисунок 6.2 – Схема розташування світильників в приміщенні

В приміщенні застосовуються світильники типу НОДЛ. Кожен світильник складається з двом ламп.

### 6.1.3 Виробничий шум і вібрація

Вібрацію та шум створюються під час роботи різних механізмів та апаратів: автооператори, вентилятори, електродвигуни, компресори та ін. Рівень шуму на виробництві залежить від одночасної експлуатації всіх видів обладнання і сягає 76…92 дБА за даними лабораторних вимірів, що перевищує

допустимий рівень, згідно ДСН 3.3.6.037–99 (допустиме значення становить 85 дБА).

Зниження рівня шуму досягається наступними способами: ізоляцією джерел шуму засобами звукоізоляції і звукопоглинання (перегородки і кожухи, перешкоджаючі розповсюдженню шуму); впровадженням глушників, які монтуються на повітроводах; акустичною обробкою виробничих приміщень звукопоглинаючими матеріалами; зниженням шуму в джерелі їх утворення – мінімальні допуски, балансування, демпфірування вібрації деталей, які співударяються; використанням індивідуальних засобів захисту (беруші, тампони з ультратонкого волокна, шлеми, навушники, каски та ін.); архітектурно-планувальним рішенням: дотримання відстані від обладнання до стіни з робочої сторони лінії 1,5 м, з неробочої 1,2…1,5 м; площа виробничого цеху на одного працівника не менше 4,5 м$^2$; мінімальна висота виробничого приміщення 5 м, площа, при цьому, зайнята лінією сріблення, не перевищує 25 % загальної площі гальванічного цеху.

У виробничому приміщенні, що проєктується, передбачено вимірювання рівня шуму і контролю рівня вібрації за допомогою приладу ИШВ-003.

### 6.1.4 Електробезпека

Виробничий цех за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відноситься до категорії особливо небезпечних приміщень, оскільки характеризується наявністю хімічно активного середовища, руйнуючого електроізоляцію струмоведучих частин електрообладнання та наявністю металевого обладнання та підлоги.

Ураження працівників електричним струмом може виникнути в результаті дотику до струмоведучих компонентів виробничого обладнання, що опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції, а також ураження кроковою напругою і через електродугу. Електричне устаткування виробничого цеху живиться від трифазної чотирьохпровідної електричної

мережі змінного струму промислової частини напруги 380/220В із глухозаземленою нейтраллю.

Згідно ГОСТ 12.1.038–92, допустимі рівні напруг дотику ($U_д$) і струму, що проходить через тіло людини ($I_л$) рівні: при нормальному режимі роботи електричного встаткування $U_д$ = 2 В, а $I_л$ = 0,3 мА; при аварійному $U_д$ = 36 В, а $I_л$ = 6 мА.

Частіше за все відбувається однофазний дотик людини до мережі змінного струму. Сила струму, що проходить через людину, розраховується як:

$$I_л = U_ф\ 10^3 / (R_л + R_0),\ мА;$$

де $U_ф$ — 220 – фазна напруга, В; $R_л$ = 3000 – загальний опір тіла людини, Ом; $R_0$ = 4 – опір робочого заземлення нейтралі, Ом.

$$I_л = 73\ мА$$

$$U_д = I_л * R_л,\ В$$

$$U_д = 219\ В$$

Порівнявши розрахункові дані з нормативними, робимо висновок, що під час порушення вимог ПБЕ в цеху можуть бути електричні травми з важкими наслідками.

Для підвищення якості електробезпеки передбачено такі технічні способи і засоби: занулення електрообладнання, захисне відключення установок, вирівнювання потенціалів, мала напруга живлення ручних електроінструментів, огороджувальні пристрої, блокування, сигналізація, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, знаки безпеки, попереджувальні плакати.

Безпека експлуатації при нормальному режимі електроустановок дотримується наступним чином:

1. ізоляцією струмоведучих частин (опір ізоляції не менше 0,5 МОм);
2. недоступністю струмоведучих частин;

3. малими напругами.

Рекомендуються застосування також захисних засобів, як: діелектричні гумові рукавички, інструмент з ізолюючими рукоятками і струмошукачі, гумові ізолюючі підставки.

Обов’язкове проведення інструктажу з правил техніки безпеки з електричним струмом. Оголені дроти, апарати, які мають неізольовані струмоведучі частини, передбачено розміщувати в спеціальних ящиках, що закриваються суцільними або сітчастими огородженнями.

### 6.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

Розрізняють дві групи методів і засобів забезпечення безпеки праці:

- Загальні;
- Часткові.

Причинами виробничих травм можуть бути:

- Падіння важких частин обладнання;
- Протікання шкідливих небезпечних речовин у тробопроводах.
- Недотримання правил техніки безпеки.

До загальних відноситься механізація і автоматизація технологічних процесів, дистанційне управління і спостереження, блокування і сигналізація, надійність і міцність конструктивного виконання.

До часткових методів відносять захист обладнання від певної безпеки: герметизація, теплоізоляція, звукоізоляція, екранування, огородження, заземлення, амортизація.

На підставі результатів аналізу потенційно небезпечних технологічних процесів і устаткування, проєктом передбачаються заходи, що забезпечують безпечні і здорові умови праці. Вони передбачають усунення безпосереднього контакту працюючих зі шкідливими речовинами. Це досягається дистанційним керуванням процесами, застосуванням засобів механізації на

стадіях вивантаження, завантаження і транспортування вихідних матеріалів, проміжних продуктів і готової продукції.

## 6.2 Пожежна безпека

У виробничому цеху можливе виникнення пожежі внаслідок перевантаження електроустаткування. Причинами загоряння також можуть бути: коротке замикання між частинами обладнання, розряди статичної електрики, механічні пошкодження обладнання і електропроводу. Також пожежа можлива при неправильному користуванні обладнанням та недотриманні персоналом правил техніки безпеки роботи с сировиною та апаратами.

Основними причинами короткого замикання є пошкодження електроізоляції дротів, потрапляння на неізольовані дроти струмопровідних предметів, дія на дроти хімічно активних речовин.

Для гасіння пожежі на робочих місцях обладнуються протипожежні щити, вогнегасники СУБ–7, пінні вогнегасники і ящики з піском. Також виробничі цехи та склади обладнано внутрішніми пожежними кранами – елемент внутрішнього пожежного водопроводу.

Таблиця 6.4 - Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Встановлюється охоронно–пожежна сигналізація автономного типу. Також для захисту електроустаткування від загоряння використовують такі методи: регулярне технічне обслуговування, фарбування електроустаткування негорючими матеріалами.

# ВИСНОВКИ

Згідно з завданням бакалаврського дипломного проєкту було проведено комп’ютерне моделювання та автоматизація процесу отримання пропан-1,2-діолу шляхом гідратації оксиду пропилену.

Під час виконання бакалаврського проєкту були вирішені такі задачі:

– Розроблено схему хіміко-технологічного процесу у програмі-симуляторі ChemCad 7, були розраховані матеріальні баланси схеми.
– За допомогою програми MathCad 15, з урахуванням математичної моделі здійснено конструктивний розрахунок досліджуваного апарату – ректифікаційної колони.
– На основі аналізу технології виготовлення пропан-1,2-діолу розроблено схему автоматизації та обрані необхідні прилади реєстрації, контролю та регулювання основних показників процесу.
– Розраховано основні техніко-економічні показники виробництва пропан-1,2-діолу до і після автоматизації процесу, а також рентабельність його впровадження.
– Проведено аналіз і визначено основні небезпечні екологічні фактори, що присутні під час виробництва. Досліджено шляхи мінімізації їхнього впливу на здоров’я людини.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


1. К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А. Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов – Л.: Химия, 1987 – 576с.
2. Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. М.: Химия, 1991. – 496с.
3. Дымент О.Н., Казанский К.С., Мирошников А.М. Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. М.: Химия, 1976 – 176с.
4. Мікульонок І.О., Рябцев Г.Л. Основи проєктування насадкових ректифікаційних колон. – К.:НМЦВО, 2000. – 200с.
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и гидкостей. – М.:НАУКА, 1972. – 720с.
6. Лощинский А.А. , Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Пряников В.И. Техника безопасности в химической промышленности. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
8. *David R. Lide* CRC Handbook of Chemistry and Physics. – CRC Press, 2004. - 2712 pages.
9. Равделя А.А., Пономаревой А.М. Краткий справочник физико-химических величин. Изд. 8. – Л.: Химия, 1983. – 200с.
10. Стабников В.Н., Ройтер И.М., Процюк Т.Б. Этиловый спирт. – М.: Пищевая промышленность, 1976. — 272 с.
11. https//findpatent.ru/patent/226/2261854.html. (дата звернення 12.05.2020).
12. CHEMCAD 7 User Guide URL: https://www.cemsttions.com/content/docuents/CHEMCAD7User_Guide.pdf. (дата звернення 14.04.2020).
13. Остапенко Ю. О. Ідентифікація та моделювання технологічних об’єктів керування: Підручник для студентів ВНЗ напрямку підготовки 050202

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”– К.: Задруга, 1999. – 424 с.: Іл. – Бібліогр. в кінці розділі.

14. Теорія автоматичного керування: метод. вказівки і завд. до викон. домашньої контр. роб. та самостійної роботи для студ. напр. підг. 6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” [Текст]. За ред. С.Г. Бондаренко, О.В. Сангінова, Київ, 2013 – 102 с.

15. Автоматизація виробництва Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wikiАвтоматизація_виробництва. (дата звернення 13.05.2020).

16. ОВЕН URL: https://www.owen.ru/product/trm10. (дата звернення 20.05.2020).

17. Види руху предметів праці. URL: http://um.co.ua/10/10-8/10-83816.html (дата звернення 17.05.2020).

18. Організація контролю якості продукції на підприємстві URL: http://pidruchniki.com/15890315/ekonomika/organizatsiya_kontrolyu_yakosti_produktsiyi. (дата звернення 17.05.2019).

19. Основи охорони праці [Текст]. Підручник, 2-е видання, доповнене та перероблене./ За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського - К.: Основа. 2006. - 448 с.

20. Орленко, А. Т. Методичні вказівки щодо загальних вимог з охорони праці до технологічних процесів і обладнання при переробці пластмас у вироби [Текст] : навч. посіб. для студ. ВНЗ / А. Т. Орленко, І. О. Фоменко, Ю. О. Полукаров, Н. А. Праховнік. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 30 с.

21. Законодавство про охорону праці URL: https://refdb.ru/look/1076513-pall.html.

22. Рябов И. В. Пожарная безопасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности [Текст]. - М.: Химия,1970. - 336 с.

23. Саущев В. С. Пожарная безопасность хранения химических веществ [Текст]. –М.:Стройиздат,1982.-128 с.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

## Розрахунок матеріального балансу ChemCad 7.1.5

## Додаток Б

## Розрахунок ректифікаційної колони в MathCad

Апроксимація експериментальних даних пароріднної рівноваги пропан-1,2-діолу:

$xe := (0.1\ \ 0.2\ \ 0.3\ \ 0.4\ \ 0.5\ \ 0.6\ \ 0.7\ \ 0.8\ \ 0.9)$

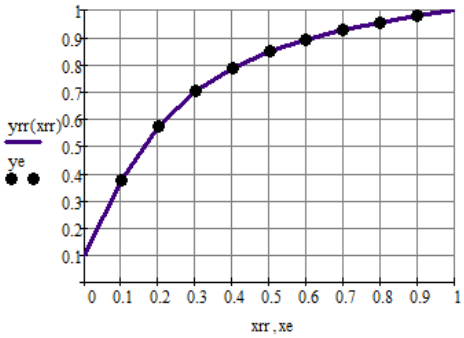
$ye := (0.375\ \ 0.574\ \ 0.703\ \ 0.788\ \ 0.85\ \ 0.892\ \ 0.926\ \ 0.953\ \ 0.977)$

$sv := pspline(xe^T, ye^T)$ $xrr := 0, 0.1 .. 1$ $yrr(xrr) := interp(sv, xe^T, ye^T, xrr)$

кг ≡ 1 %.:= 1
м3 ≡ 1 м ≡ 1
моль ≡ 1 кмоль ≡ 1
С ≡ 1 К ≡ 1
год ≡ 1 с ≡ 1
м2 ≡ 1

Середнє квадратичне відхилення знайденої апроксимуючої функції:

$$\sigma v := \frac{\sqrt{\sum \left(ye^T - yrr\left(xe^T\right)\right)^2}}{9-1} = 0.00000000000000000$$




Знаходимо коефіцієнт летучості висококиплячого компонента

$$\alpha_0 := \frac{yrr\left(xe^{\langle 1\rangle}\right)\cdot\left(xe^{\langle 1\rangle} - 1\right)}{xe^{\langle 1\rangle}\cdot\left(yrr\left(xe^{\langle 1\rangle}\right) - 1\right)} = 5.39 \qquad \alpha_1 := \frac{yrr\left(xe^{\langle 2\rangle}\right)\cdot\left(xe^{\langle 2\rangle} - 1\right)}{xe^{\langle 2\rangle}\cdot\left(yrr\left(xe^{\langle 2\rangle}\right) - 1\right)} = 5.523$$

$$\alpha_2 := \frac{yrr\left(xe^{\langle 3\rangle}\right)\cdot\left(xe^{\langle 3\rangle} - 1\right)}{xe^{\langle 3\rangle}\cdot\left(yrr\left(xe^{\langle 3\rangle}\right) - 1\right)} = 5.575 \qquad \alpha_3 := \frac{yrr\left(xe^{\langle 4\rangle}\right)\cdot\left(xe^{\langle 4\rangle} - 1\right)}{xe^{\langle 4\rangle}\cdot\left(yrr\left(xe^{\langle 4\rangle}\right) - 1\right)} = 5.667$$

$$\alpha_4 := \frac{yrr\left(xe^{\langle 5\rangle}\right)\cdot\left(xe^{\langle 5\rangle} - 1\right)}{xe^{\langle 5\rangle}\cdot\left(yrr\left(xe^{\langle 5\rangle}\right) - 1\right)} = 5.506 \qquad \alpha_5 := \frac{yrr\left(xe^{\langle 6\rangle}\right)\cdot\left(xe^{\langle 6\rangle} - 1\right)}{xe^{\langle 6\rangle}\cdot\left(yrr\left(xe^{\langle 6\rangle}\right) - 1\right)} = 5.363$$

$$\alpha_6 := \frac{yrr\left(xe^{\langle 7\rangle}\right)\cdot\left(xe^{\langle 7\rangle} - 1\right)}{xe^{\langle 7\rangle}\cdot\left(yrr\left(xe^{\langle 7\rangle}\right) - 1\right)} = 5.069$$

$$\alpha := \frac{\sum \alpha}{7} = 5.442$$

Вихідні дані для розрахунку технологічних параметрів ректифікаційної колони:

$Fm := 9356кг \quad xfm := 0.446 \quad xdm := 0.995 \quad xwm := 0.004$

$Dm := xdm \cdot xfm \cdot Fm = 4151.912 \cdot кг$

$Wm := Fm - Dm = 5204.088 \cdot кг$

$Md := 76.09 \frac{кг}{кмоль} \quad Mt := 18$

Масові долі перераховуємо в мольні:

$$xf := \frac{\frac{xfm}{Md}}{\frac{xfm}{Md} + \frac{1 - xfm}{Mt}} = 0.16 \qquad xd := \frac{\frac{xdm}{Md}}{\frac{xdm}{Md} + \frac{1 - xdm}{Mt}} = 0.9792 \qquad xw := \frac{\frac{xwm}{Md}}{\frac{xwm}{Md} + \frac{1 - xwm}{Mt}} = 0.000949$$

Розраховуємо парорідину рівновагу ВКК у потоці живлення, кубі та дистиляті:

$$y'f := \frac{\alpha \cdot xf}{1 + (\alpha - 1) \cdot xf} = 0.5089 \qquad y'w := \frac{\alpha \cdot xw}{1 + (\alpha - 1) \cdot xw} = 0.005143 \qquad y'd := \frac{\alpha \cdot xd}{1 + (\alpha - 1) \cdot xd} = 0.996112$$

Визначаємо мінімальне флегмове число:

$$Rmin := \frac{xd - y'f}{y'f - xf} = 1.3477$$

Та робоче:

$R := 1.3 \cdot Rmin + 0.3 = 2.052$

Перерахуємо масові витрати в мольні:

$$D := \frac{xd \cdot Dm}{Md} = 53.430811 \cdot кмоль \qquad F := \frac{D}{xf \cdot xd} = 341.083 \cdot кмоль \qquad Rf := R \cdot D = 109.637 \cdot кмоль \qquad G := Rf + D = 163.068 \cdot кмоль$$

Та масові витрати флегми та пари:

$$Rm := R \cdot D \cdot Md = 8342.286 \cdot \frac{кг}{год} \qquad Gm := Dm + Rm = 12494.1982 \cdot \frac{кг}{год}$$

Розраховуємо середнє значення пароріднинної рівноваги, молярної маси та витрати пари у верхній та нижній частині колони відповідно:

$y'v := \frac{y'd + y'f}{2} = 0.753$ $\qquad$ $y'n := \frac{y'f + y'w}{2} = 0.257$

$Msv := Md \cdot y'v + Mt \cdot (1 - y'v) = 61.714 \cdot \frac{кг}{кмоль}$ $\qquad$ $Msn := Md \cdot y'n + Mt \cdot (1 - y'n) = 32.931 \cdot \frac{кг}{кмоль}$

$Gv := Dm \cdot (R + 1) \cdot \frac{Msv}{Md} = 10277.345 \cdot \frac{кг}{год}$ $\qquad$ $Gn := Dm \cdot (R + 1) \cdot \frac{Msn}{Md} = 5484.113 \cdot \frac{кг}{год}$

Температура у вверхній та нижній частині колони дорівнює:

$tн := 155.632$ $\qquad$ $T := 273.15 \cdot K$ $\qquad$ $Vm := 22.4 \cdot \frac{м3}{кмоль}$ $\qquad$ $tв := 137.074C$

Розрахуємо середню густину пари у верхній та нижній частині колони:

$\rho yv := \frac{Msv}{Vm} \cdot \frac{T}{T + tв} = 1.834 \cdot \frac{кг}{м3}$ $\qquad$ $\rho yn := \frac{Msn}{Vm} \cdot \frac{T}{T + tн} = 0.937 \cdot \frac{кг}{м3}$

Тепер визначаємо середнє темперерату, густину та молярну масу рідини у верхній та нижній частині колони:

$xv := \frac{xd + xf}{2} = 0.57$ $\qquad$ -- tср.верх. = 135 °C $\qquad$ $yn(xv) = 0.881$ $\qquad$ $xn := \frac{xf + xw}{2} = 0.08$ $\qquad$ -- tср.низ. = 158 °C

Густина рідин при середній верхній та нижній температурі:

$\rho dv := 1000 \cdot \frac{кг}{м3}$ $\qquad$ $\rho vv := 998 \cdot \frac{кг}{м3}$ $\qquad$ $\rho dn := 1040 \cdot \frac{кг}{м3}$ $\qquad$ $\rho tn := 1020 \cdot \frac{кг}{м3}$

$Msvx := Md \cdot xv + Mt \cdot (1 - xv) = 51.087 \cdot \frac{кг}{кмоль}$ $\qquad$ $Msnx := Md \cdot xn + Mt \cdot (1 - xn) = 22.674 \cdot \frac{кг}{кмоль}$

$\rho xv := \frac{1}{\frac{xv}{\rho dv} + \frac{1 - xv}{\rho vv}} = 999.138 \cdot \frac{кг}{м3}$ $\qquad$ $\rho xn := \frac{1}{\frac{xn}{\rho dn} + \frac{1 - xn}{\rho tn}} = 1021.581 \cdot \frac{кг}{м3}$

Визначаємо середнє значення швидкості пари у верхній та нижній частині колони, прийнявши відстань між тарілками - 0.6 м:

$\varphi := 0.9$ $\qquad$ $C := 0.1$

$wv := \varphi \cdot C \cdot \sqrt{\frac{\rho xv}{\rho yv} - 1} = 2.098 \cdot \frac{м}{с}$ $\qquad$ $wn := \varphi \cdot C \cdot \sqrt{\frac{\rho xn}{\rho yn} - 1} = 2.971 \cdot \frac{м}{с}$

Діаметр верхньої та нижньої частини відповідно:

$Dv := \sqrt{\frac{4 \cdot Gv}{3.14 \cdot 3600 \cdot wv \cdot \rho yv}} = 0.972 \cdot м$ $\qquad$ $Dn := \sqrt{\frac{4 \cdot Gn}{3.14 \times 3600 \cdot wn \cdot \rho yn}} = 0.835 \cdot м$

Обираємо більший з обох діаметр та перераховуємо швидкості пару:

$Dk := 1м$

$wv := \frac{4Gv}{3.14 \cdot 3600 \cdot Dk^2 \cdot \rho yv} = 1.982 \cdot \frac{м}{с}$ $\qquad$ $wn := \frac{4Gn}{3.14 \cdot 3600 \cdot Dk^2 \cdot \rho yn} = 2.072 \cdot \frac{м}{с}$

Розраховуємо середнє значення швидкості пари, її густини та густи рідини:

$w := \frac{wv + wn}{2} = 2.027 \cdot \frac{м}{с}$ $\qquad$ $\rho ys := \frac{\rho yv + \rho yn}{2} = 1.386 \cdot \frac{кг}{м3}$ $\qquad$ $\rho xs := \frac{\rho xv + \rho xn}{2} = 1010.359 \cdot \frac{кг}{м3}$

Обчислюємо об'ємні долі рідини пропіленліколя та води

$vd := xv \cdot \frac{\rho xv}{Msvx} = 11.14$ $\qquad$ $vt := (1 - xv) \cdot \frac{\rho xv}{Msvx} = 8.418$

Динамічний коефіцієнт в'язкості при 20 °C становить:

$\mu d20 := 0.84 \cdot мПа \cdot с$ $\qquad$ $\mu v20 := 1.2 \cdot мПа \cdot с$

$$\mu s20 := \frac{\mu d20 + \mu v20}{2} = 1.02 \cdot мПа \cdot с$$

Коефіцієнт дифузії в рідині при 20 °C можна обчислити за наближеною формулою:

$$Dx20 := \frac{10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{1}{Md} + \frac{1}{Mt}}}{\sqrt{\mu s20} \cdot \left(vd^{\frac{1}{3}} + vt^{\frac{1}{3}}\right)^2} = 1.4250 \times 10^{-8} \cdot \frac{м2}{с}$$

Густина рідин при 20 °С:

$\rho d20 := 1025 \cdot \frac{кг}{м3}$ $\rho t20 := 998.2 \cdot \frac{кг}{м3}$

$$\rho s20 := \frac{\rho d20 + \rho t20}{2} = 1011.6 \cdot \frac{кг}{м3}$$

Температурний коефіцієнт b можна визначити за формулою:

$$b := 0.2 \cdot \frac{\sqrt{\mu s20}}{\sqrt[3]{\rho s20}} = 0.020122$$

Коефіцієнт дифузії в рідині при середніх верхніх і нижніх температурах становить:

$tsn := 155.632 \cdot C$ $tsv := 139.074C$

$Dxv := Dx20 \cdot [1 + b \cdot (tsv - 20)] = 1.25 \times 10^{-8} \cdot \frac{м2}{c}$ $Dxn := Dx20 \cdot [1 + b \cdot (tsn - 20)] = 1.298 \times 10^{-8} \cdot \frac{м2}{c}$

В парі:

$$Dyv := \frac{4.22 \cdot 10^{-2} \cdot (T + tsv)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{Md} + \frac{1}{Mt}}}{101325 \cdot \left(vd^{\frac{1}{3}} + vt^{\frac{1}{3}}\right)^2} = 2.915 \times 10^{-5} \cdot \frac{м2}{c}$$

$$Dyn := \frac{4.22 \cdot 10^{-2} \cdot (T + tsn)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{Md} + \frac{1}{Mt}}}{101325 \cdot \left(vd^{\frac{1}{3}} + vt^{\frac{1}{3}}\right)^2} = 2.94 \times 10^{-5} \cdot \frac{м2}{c}$$

Розрахуємо значення Рейнольдса та Нюсельта:

$\mu d86 := 0.3798 \cdot 10^{-3} \cdot мПа \cdot c$ $\mu t86 := 0.542 \cdot 10^{-3} \cdot мПа \cdot c$

$$\mu s86 := \frac{\mu d86 + \mu t86}{2} = 4.609 \times 10^{-4} \cdot мПа \cdot c$$

$$Re := \frac{w \cdot \rho ys}{\mu s86} = 6094.129$$

$Nuy := 0.79 \cdot Re = 4814.362$

Тоді середні значення дифузії у верхній та нижній частині колони становитимуть:

$Dys := \frac{Dyv + Dyn}{2} = 2.928 \times 10^{-5} \cdot \frac{м2}{c}$ $Dxs := \frac{Dxv + Dxn}{2} = 1.274 \times 10^{-8} \cdot \frac{м2}{c}$

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі становить:

$$\beta y := \frac{Nuy \cdot Dys}{Vm} = 6.293 \times 10^{-3} \cdot \frac{кмоль}{м2 \cdot c}$$

Визначимо коефіцієнт масовіддачі і в рідкій фазі:

$$Pr := \frac{3600 \cdot \mu s86}{\rho xs \cdot Dxs} = 128900.517$$

$Nux := 3800 \cdot Pr^{0.62} = 5.599 \times 10^{6}$ $Mxs := \frac{Msvx + Msnx}{2} = 36.881 \cdot \frac{кг}{кмоль}$

$$\beta x := \frac{Nux \cdot \rho xs \cdot Dxs}{Mxs} = 1.954 \cdot \frac{кмоль}{м2 \cdot c}$$

Коефіцієнт масопередачі буде дорівнювати:

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\beta x} + \frac{1}{\beta y}} = 0.00627 \cdot \frac{кмоль}{м2 \cdot c}$$

Обираємо, відповідно діаметру колони та типу тарілки, її робочу площу:

$Ft := 2.38 \cdot м2$

$$d := 2 \cdot \sqrt{\frac{Ft}{\pi}} = 1.741 \cdot м$$

Мольна кількість речовини на тарільці становитиме:

$$M := \frac{\pi \cdot 0.055 \cdot \rho xs \cdot d}{4 \cdot [Md \cdot xf + Mt \cdot (1 - xf)]} = 2.784 \cdot кмоль$$

Розрахуємо необхідну кількість тарілок:

$$E := e^{-M \cdot \frac{K \cdot 3600}{G}} = 0.680136$$

$$yn(x) := \frac{\alpha \cdot x}{1 + (1 - \alpha) \cdot x}$$

```
xplate := | y_0 ← xw
          | i ← 1
          | x_i ← xw
          | while x_i < xf
          |   | y_i ← y_(i−1)·E − yrr(x_i)·(E − 1)
          |   | x_(i+1) ← (F·x_i − G·y_(i−1) + G·y_i + R·x_i)/(F + R)
          |   | i ← i + 1
          | for j ∈ 0..i − 1
          |   newx_j ← x_j
          | x ← newx
          | i ← i − 1
          | y_i ← y_(i−1)·E − yrr(x_i)·(E − 1)
          | x_(i+1) ← (G·y_i − G·y_(i−1) + R·x_i − F·xf + F·x_i)/R
          | i ← i + 1
          | while x_i < xd
          |   | y_i ← y_(i−1)·E − yrr(x_i)·(E − 1)
          |   | x_(i+1) ← (G·y_i − G·y_(i−1) + R·x_i)/R
          |   | i ← i + 1
          | y_i ← y'd
          | x_i ← xd
          | (i  x  y)
```

$n := xplate_{0,0} = 12$

Отже, кількість тарілок склала 12 шт, тоді висота колони становитиме:

$h := 0.6м$ -- відстань між тарілками;

$Hr := h\cdot(n - 1) = 6.6$ -- робоча висота колони;

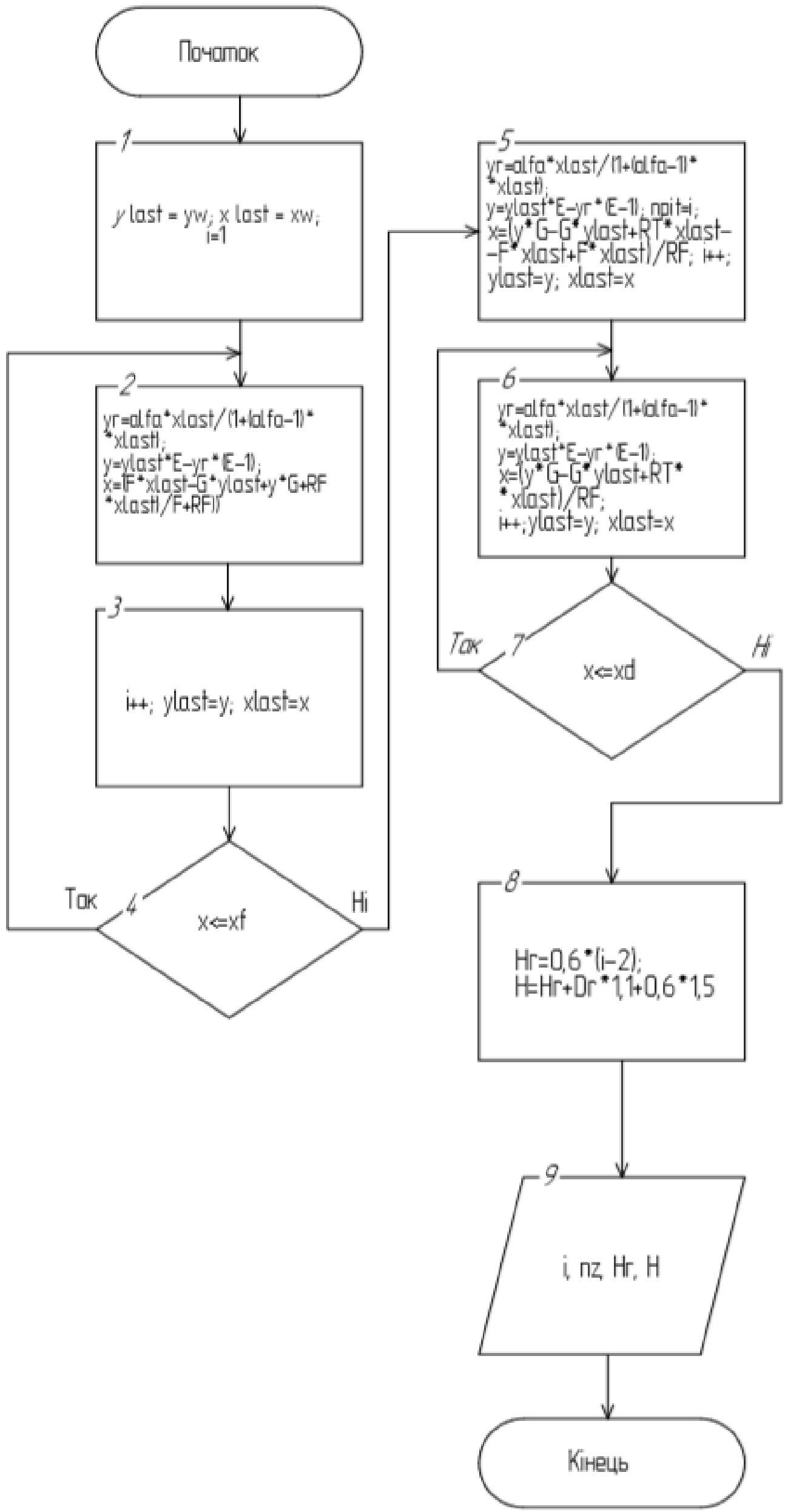
$Hv := 1.5\cdot h = 0.9\cdot м$ -- висота верхньої частини колони;

$Hn := 1.1\cdot Dk = 1.1\cdot м$ -- висота нижньої частини колони;

$H := Hr + Hv + Hn = 8.6\cdot м$ -- загальна висота ректифікаційної колони без опори;

**Додаток В**

**Блок-схема програмного модуля**



**Додаток Г**

## Код програмного модуля

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;
using System.Runtime.InteropServices;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;

namespace ColumCalculation
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
        InitializeComponent();
        }



        private void вихіжЗПрограмиToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        Close();
        }


        private void проПрограмуToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
        {
```

```
    AboutBox1 about = new AboutBox1();
    about.ShowDialog();

}

private void інструкціяToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Help help = new Help();
    help.ShowDialog();
}


    private void vvod_Click(object sender, EventArgs e)
{

    double Fm, xmf, xmd;


    xmf = Convert.ToDouble(Xmf.Text)/100;
    xmd = Convert.ToDouble(Xmd.Text) / 100;
    Fm = Convert.ToDouble(fm.Text);


    Solve(Fm, xmf, xmd);
}

void Solve(double Fm, double xmf, double xmd)
{


    #region константи
    double alfa = 5.442,
        P = 101.3,
        Md = 76.09,
        Mt = 18,
```

Dm = xmd * xmf * Fm,

Wm = Fm - Dm,

xmw = ((Fm * xmf) - Dm) / Wm,

xf = xmf / Md / (xmf / Md + (1.0 - xmf) / Md),

xd = xmd / Md / (xmd / Md + (1 - xmd) / Md),

xw = xmw / Md / (xmw / Md + (1.0 - xmw) / Md),

yf = alfa * xf / (1.0 + (alfa - 1.0) * xf),

yd = alfa * xd / (1.0 + (alfa - 1) * xd),

yw = alfa * xw / (1.0 + (alfa - 1) * xw),

Rmin = (xd - yf) / (yf - xf), R = 1.3 * Rmin + 0.3,

D = xd * Dm / Md,

F = D / xf / xd,

Rf = R * D, G = Rf + D,

Rm = Rf * Md, Gm = Dm + Rm,

yv = (yd + yf) / 2.0,

yn = (yf + yw) / 2.0,

Msv = Md * yv + Mt * (1 - yv),

Msn = Md * yn + Mt * (1.0 - yn),

Gv = Gm * Msv / Md,

Gn = Gm * Msn / Md,

tn = 155.632,

tv = 137.074,

T = 273.15,

Vm = 22.4,

pyv = Msv / Vm * T / (T + tv),

pyn = Msn / Vm * T / (T + tn),

xv = (xd + xf) / 2.0,

xn = (xf + xw) / 2.0,

```
    tsv = 135,
    tsn = 158,

    pdv = 1000,
    ptv = 998,
    ptn = 1020,
    pdn = 1040,

    Msvx = Md * xv + Mt * (1.0 - xv),
    Msnx = Md * xn + Mt * (1 - xn),
    pxv = 1.0 / (xv / pdv + (1.0 - xv) / ptv),
    pxn = 1.0 / (xn / pdn + (1.0 - xn) / ptn),
    fi = 0.9,
    C = 0.1,

    wv = fi * C * Math.Pow(pxv / pyv, 0.5),
    wn = fi * C * Math.Pow(pxn / pyn, 0.5),
    Dv = Math.Pow(4.0 * Gv / 3.14 / 3600.0 / wv / pyv, 0.5),
    Dn = Math.Pow(4.0 * Gn / 3.14 / 3600.0 / wn / pyn, 0.5);
#endregion
double Dk;

if (Dv >= Dn)
{
   if (Dv % 2 == 0) { Dk = Math.Round(Dv, 1); }
   else { Dk = Math.Round(Dv, 1) + 0.2; }
}
else
{
   if (Dn % 2 == 0) { Dk = Math.Round(Dn, 1); }
   else { Dk = Math.Round(Dn, 1) + 0.2; };
}

wv = 4.0 * Gv / 3.14 / 3600.0 / Math.Pow(Dk, 2.0) / pyv;
wn = 4.0 * Gn / 3.14 / 3600.0 / Math.Pow(Dk, 2.0) / pyn;
```

```
#region константи
double
    w = (wv + wn) / 2.0,
    pys = (pyv + pyn) / 2.0,
    pxs = (pxv + pxn) / 2.0,
    vd = xv * pxv / Msvx,
    vv = (1.0 - xv) * pxv / Msvx,
    Dx20 = 1.4215 * Math.Pow(10.0, (-8)),
    b = 0.01829,
    Dxv = Dx20 * (1.0 + b * (tsv - 20.0)),
    Dxn = Dx20 * (1.0 + b * (tsn - 20.0)),
    mud86 = 0.0003798,
    mut86 = 0.000542,
    mus86 = (mud86 + mut86) / 2,
    Dyv = 0.0422 * Math.Pow(T + tsv, 1.5) * Math.Pow(1 / Md + 1 / Mt, 0.5) / P /
(Math.Pow(vd, 1.0 / 3.0) + Math.Pow(vv, 1.0 / 3.0)),
    Dyn = 0.0422 * Math.Pow(T + tsn, 1.5) * Math.Pow(1 / Md + 1 / Mt, 0.5) / P /
(Math.Pow(vd, 1.0 / 3.0) + Math.Pow(vv, 1.0 / 3.0)),
    Re = w * pys / mus86,
    Nuy = 0.79 * Re,
    Dys = (Dyv + Dyn) / 2.0,
    Dxs = (Dxv + Dxn) / 2.0,
    betay = Nuy * Dys / Vm,
    Pr = 3600.0 * mus86 / pxs / Dxs,
    Nux = 3800.0 * Math.Pow(Pr, 0.62),
    betax = Nux * pxs * Dxs * 2.0 / (Msvx + Msnx),
    K = 1.0 / (1.0 / betax + 1.0 / betay),
    Ft = 2.38, d = 2.0 * Math.Pow(Ft / 3.14, 0.5),
    M = 3.14 * 0.055 * pxs * d / 4.0 / (Md * xf + Mt * (1.0 - xf)),
    E = Math.Exp(-M * K * 3600.0 / G);
#endregion

double x, y, yr, ylast = xw, xlast = xw;
int i = 1;
```

```
            do
            {
                yr = alfa * xlast / (1.0 + (alfa - 1.0) * xlast);
                y = ylast * E - yr * (E - 1.0);
                x = (F * xlast - G * ylast + y * G + Rf * xlast) / (F + Rf);
                i++; ylast = y; xlast = x;
            } while (x <= xf);

            int npit = i;
            yr = alfa * xlast / (1 + (alfa - 1) * xlast);
            y = ylast * E - yr * (E - 1);
            x = (y * G - G * ylast + Rf * xlast - F * xf + F * xlast) / Rf;

            i++; ylast = y; xlast = x;

            do
            {
                yr = alfa * xlast / (1 + (alfa - 1) * xlast);
                y = ylast * E - yr * (E - 1);
                x = (y * G - G * ylast + Rf * xlast) / Rf;

                i++; ylast = y; xlast = x;
            } while (x <= xd);

            double Hr = 0.6 * (i-2), H = Hr + Dk*1.1 + 1.5*0.6;

            textBox1.Text = (i-1).ToString() + " шт";
            textBox2.Text = Math.Round(Dk, 2).ToString() + " м";
            textBox3.Text = npit.ToString();
            textBox4.Text = Math.Round(H, 2).ToString() + " м";
            textBox5.Text = (xmw).ToString();
        }
    }
}
```

**Додаток Д**

## Специфікація устаткування

| Позиція на схемі | Назва параметра | Середовище, місце відбору інформації | Граничне значення параметра | Місце монтажу | Назва, технічна характеристика | Тип, марка моделі | Завод-виробник | К-ть |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 4-1, 11-1, 12-1, 14-1 | Температура | Кінетичний реактор, ректифікаційна колона, дефлегматор, теплообмінник | 24-128 $^0$C | Кінетичний реактор, ректифікаційна колона, дефлегматор, теплообмінник | Термометр опору<br>Робочий діапазон температур: -50ºС – 200ºС.<br>Вих. сигнал 4 – 20 мА;<br>Клас точності 0.25. | ТСМ-1187 | ТОВ «ПРОМСАТ» м. Київ | 4 |
| 4-2, 11-2, 12-2, 14-2 | Те саме | Те саме | Те саме | Щит керування | Вимірювальний ПІД-регулятор одноканальний<br>Вх. сигнал 4 - 20 мА; вих. 4 – 20мА; клас точності 0,25. Напруга живлення 0 – 1В, від -50 до +50мВ. Максимальна похибка вимірювань 0,15 %. Діапазон робочих температур від –20 до +50 °С | ТРМ10 | ВАТ «ОВЕН» м. Харків | 4 |

Продовження Специфікації устаткування

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4-2, 11-2, 12-2, 14-2 | —”— | —”— | —”— | Трубопровід | Виконавчий механізм Номінальний обертальний момент на вихідному валу 6.3 Nm. Номінальний час повного ходу вихідного валу, 10 с. Номінальна. знач. повного ходу, об. 0.25. Напруга живлення 220 В. Вх. сигнал: 4 – 20мА. Діапазон робочих температур від –20 до +50 °С | МЕО-40 | ООТ «Промелетроприлад» м. Запоріжжя | 4 |
| 2-1, 3-1, 6-1, 8-1 | Витрата | Трубопровід | 68-300 кмоль/год | Трубопровід | Ротаметр Клас точності 0.1. Температура вимірюваного середовища від -196 до 400 °С . Вих. сигнал 4 – 20 мА. Похибка вимірювання 0,5%. | Н250 М40 | ВАТ «KROHNE» Німеччина | 4 |

Продовження Специфікації устаткування

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2-2 | Те саме | Те саме | Те саме | Щит керування | ПІД-регулятор<br>Вх. сигнал 4 - 20 мА; вих. 4 – 20мА; клас точності 0,25. Напруга живлення 0 – 1В,<br>від -50 до +50мВ. Максимальна похибка вимірювань 0,15 %. Діапазон робочих температур від –20 до +50 °С | ТРМ10 | ВАТ «ОВЕН» м. Харків | 1 |
| 2-3 | __”__ | __”__ | __”__ | Трубопровід | Виконавчий механізм Номінальний обертальний момент на вихідному валу 6.3 Nm.<br>Номінальний час повного ходу вихідного валу, 10 с. Номінальна. знач. повного ходу, об. 0.25. Напруга живлення 220 В.<br>Вх. сигнал: 4 – 20мА. Діапазон робочих температур від –20 до +50 °С | МЕО-40 | ООТ «Промелетроприлад» м. Запоріжжя | 1 |

Продовження Специфікації устаткування

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3-2, 6-2, 8-2 | __”__ | __”__ | __”__ | Щит керування | Вимірювач.<br>Вхідний сигнал: 4…20 мА<br>Робочі температур від –20 до +50 °С<br>Похибка вимірювань не перевищує 0,15% (при класі точності 0,25 / 0,5) | 2ТРМ 0 | ВАТ «ОВЕН» м. Харків | 3 |
| 5-1, 7-1, 10-1 | Тиск | Реактор, Ректифікаційна колона Змішувач | 101,3 – 111,5 кПа | Місцевий | Вимірювальний перетворювач з мембранним прозділювачем;<br>Робочий тиск від -0,1 до 100МПа;<br>Вихідний сигнал 4-20 мА;<br>Клас точності 1 | РС-28 | «ГК Європрилад» с. Софіївська Борщагівка | 3 |

Продовження Специфікації устаткування

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5-2, 7-2 | Те саме | Реактор, Ректифікаційна колона | Те саме | Щит керування | ПІД-регулятор з сигналізацією Вх. сигнал 4 - 20 мА; вих. 4 – 20мА; клас точності 0,25. Напруга живлення 0 – 1В, від -50 до +50мВ. Максимальна похибка вимірювань 0,15 %. Діапазон робочих температур від –20 до +50 °С | ТРМ10 | ВАТ «ОВЕН» м. Харків | 2 |
| 10-2 | __”__ | Змішувач | 111,5 кПа | Щит керування | Вимірювач. Вхідний сигнал: 4…20 мА Робочі температур від –20 до +50 °С Похибка вимірювань не перевищує 0,15% (при класі точності 0,25 / 0,5) | 2ТРМ0 | ВАТ «ОВЕН» м. Харків | 1 |
| 5-3, 7-3 | __”__ | Реактор, Ректифікаційна колона | __”__ | Трубопровід | Виконавчий механізм Номінальний обертальний момент на вихідному валу 6.3 Nm. Номінальний час повного ходу вихідного валу, 10 с. Номінальна. знач. повного ходу, об. 0.25. Напруга живлення 220 В. Вх. сигнал: 4 – 20мА. Діапазон робочих температур від –20 до +50 °С | МЕО-40 | ООТ «Промелетроприлад» м. Запоріжжя | 2 |

Продовження Специфікації устаткування

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-1, 1-2, 1-3, 9-1, 9-2 | Концентрація | Трубопровід | 25%, 99-5% | Щит керування | Комплект для вимірювання концентрації. Містить в собі сигналізацію. Похибка до 2.5% Вх. Сигнал 0 – 20мА. | КАЦ-021МС | ТОВ «ОВЕН» м. Харків | 2 |
| HL1, HL2, HL3, HL4 | __”__ | __”__ | __”__ | __”__ | Лампа сигнальна світлодіодна червона, *U*жив = 220 В, 50/60 Гц | ЛС-47-2 | «ІЕК Україна», м. Київ | 4 |