МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Львівська політехніка»

Інститут хімії та хімічних технологій

Кафедра органічної хімії

Розрахунково-пояснювальна записка

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Тема: **«Проект відділення виробництва пластифікатора на основі пропіленоксиду продуктивністю 320 т/рік»**

ВИКОНАВЕЦЬ:
студент групи ХТ-42
Дучак Тарас Михайлович
«___»_____ 2025 р.

КЕРІВНИК ПРОЕКТУ:
проф. Дончак Володимир Андрійович
«___»_____ 2025 р.

ЗАВ.КАФ.ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ:
проф. Дончак Володимир Андрійович
«___»_____ 2025 р.

РЕЦЕНЗЕНТ:
доцент Гевусь Орест Іванович
«___»_____ 2025 р.

Львів 2025

АНОТАЦІЯ

Об’єктом дослідження цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи є технологія одержання пластифікатора для полімерних матеріалів на основі пропіленоксиду й адипінової кислоти, що базується на реакції ацилювання адипінової кислоти пропіленоксидом. Завданням цього проекту є розрахунок матеріального та теплового балансів, складання технологічної схеми, проектування основних елементів апаратурного забезпечення для виробництва цієї речовини, а також їх компонування на плані цеху. Метою роботи є проектування актуального виробництва біс(2-гідроксипропіл) адипінату (пластифікатора). У першому розділі даної роботи проведено огляд наукової та методичної літератури. Другий розділ містить повну характеристику вихідної сировини та продуктів. У третьому розділі описано матеріальні розрахунки основних стадій процесу виробництва. Четвертий розділ складається з опису технологічної схеми та її креслення. У п’ятому розділі наведено технологічний розрахунок обладнання та його специфікацію, а в шостому — норми проведення технологічного процесу. Сьомий розділ містить опис розрахунків теплового балансу. Восьмий присвячено розрахунку основного апарата з перемішуючим пристроєм. Дев’ятий розділ включає компонування обладнання цеху. У десятому розділі наведено всі необхідні норми з охорони праці, які забезпечують роботу персоналу під час виконання різних етапів виробничого процесу, а одинадцятий розділ присвячено економічній частині і у ньому висвітлюються показники, розрахунок і значення яких слугують обґрунтуванням рентабельності спроектованого виробництва на ринку нашої держави.

ABSTRACT

The object of research in this bachelor's qualification work is the technology for obtaining a plasticizer for polymer materials based on propylene oxide and adipic acid, which is based on the acylation reaction of adipic acid with propylene oxide. The aim of this project is to develop material and thermal balances, a technological scheme, design of the main elements of process equipment to produce this substance, as well as their layout within the workshop plan. The purpose of the work is to design a modern production process for bis(2-hydroxypropyl) adipate (a plasticizer). The first chapter of this work presents a review of scientific and methodological literature. The second chapter contains a comprehensive description of the raw materials and products. The third chapter provides material calculations for the main stages of the production process. The fourth chapter consists of a description of the technological scheme and its drawing. The fifth chapter presents the technological calculation of the equipment and it's specification, and the sixth — standards for conducting the technological process. The seventh chapter includes thermal balance calculations. The eighth chapter is dedicated to the calculation of the main apparatus with a mixing device. The ninth chapter contains the layout of the workshop equipment. The tenth chapter outlines all the necessary occupational safety standards required to ensure the safety of personnel during the various stages of the production process. The economic section highlights the indicators, calculations, and values that serve as justification for the profitability of the designed production within the domestic market.

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....4

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....6

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ.....23

РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС.....29

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ТА ЇЇ ОПИС.....39

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗАХУНКИ.....42

РОЗДІЛ 6. НОРМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ.....54

РОЗДІЛ 8. КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНОГО РЕАКТОРА З ПЕРЕМІШУЮЧИМ ЗАСОБОМ.....72

РОЗДІЛ 9. БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....87

РОЗДІЛ 10. ОХОРОНА ПРАЦІ.....90

РОЗДІЛ 11. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....101

ВИСНОВКИ.....116

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....118

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Огляд ринку полімерних матеріалів [1] – [6]

Упродовж останніх років було й продовжується спостерігатися стабільний розвиток ринку полімерних матеріалів, який зумовлений їх широким використанням у багатьох сегментах промисловості — від упаковування різноманітних товарів до автомобілебудування, медицини, електроніки та будівництва (список цей можна продовжувати до безкінечності). Станом на 2024 рік обсяг глобального ринку пластмас оцінюється в межах 629–666 мільярдів доларів США, залежно від оглянутих джерел, і, за прогнозами багатьох аналітиків до 2032 року він зросте приблизно до 1 трильйона доларів. Доказом помірного, але впевненого зростання попиту на пластичні матеріали, а й відповідно і обсягів їх виробництва та ринку є його середньорічний темп зростання, який коливається від 4.7% до 5.4%. Наочною ілюстрацією розвитку ринку полімерів може слугувати навіть звичайна кімната сучасного дому, адже варто лиш оглянути її, щоб зрозуміти, що вона обставлена полімерними виробами з усіх сторін, починаючи з поліетилентерефталатних виробів, що зазвичай використовуються у вигляді харчової, косметичної чи медичної тари і можуть похвалитись своєю легкістю і прозорістю, які не стають на заваді його високим бар’єрним властивостям проти рідин і газів та закінчуючи різноманітними виробами з полівінілхлориду, що завдяки своїм водовідштовхуючим властивостями знайшов широке використання у виробництві різноманітних плівок, елементів інтер’єру та інших виробів домашнього вжитку. [1] – [4]

Провівши оцінку ринку полімерів можна зробити висновок, що до одних з найпоширеніших полімерних матеріалів можна впевнено зарахувати поліетилен, поліпропілен та полівінілхлорид. Разом вони формують основну масу полімерної продукції, що використовується у виробництві найбільш поширених виробів, що входять в наш повсякденний вжиток. Наприклад поліетилен є найбільш поширеним у світі завдяки дешевизні виробництва та гнучкості, поліпропілен же відрізняється високою хімічною стійкістю і часто застосовується в автомобілебудуванні, текстильній та медичних галузях. Полівінілхлорид, незважаючи на критику зі

сторони екологів все ще залишається незамінним матеріалом у будівництві завдяки високій міцності та вогнестійкості. [3] – [5]

Загалом у регіональному розрізі лідерами ринку залишаються Північна Америка, на яку припадає найбільша частка ринку, яка становить близько 40%, Європа з 30% та країни Азіатсько-Тихоокеанського регіону, яким належить 23% від світового ринку полімерних матеріалів. При цьому найбільшими темпами зростання можна охарактеризувати саме регіони Азії, зокрема Китай, Індію, Південну Корею та Індонезію. Це пояснюється як зростанням чисельності населення, так і швидкою його урбанізацією, а відповідно за цими двома чинниками підтягуються стрімкий розвиток інфраструктури зі збільшенням виробництва споживчих товарів і високими інвестиціями у хімічну промисловість. Згідно з багатьма прогнозами, саме Азія стане абсолютним лідером у виробництві полімерів вже до 2030 року, випередивши США та країни Європи як за обсягом продукції, так і за темпами інновацій. [1] – [4]

Незважаючи на зростання обсягів продукції, що виготовляється з полімерних матеріалів, а також на розвиток полімерної хімії та велику кількість інвестицій, що залучають в цю галузь науки, вона все ще не може похвалитись досконалістю виробництва своїх товарів для пересічних споживачів, адже широке використання традиційних, переважно нафтохімічних полімерів, які важко обробляються й тривалий час розкладаються в природі, викликає багато побоювань щодо їх впливу на екологію, а й відповідно і на умови життя та здоров’я людей. У відповідь на це починає набирати обертів виробництво біополімерів — матеріалів природного або біологічного походження, що розкладаються під дією чинників навколишнього середовища. Опираючись на дані European Bioplastics, у 2024 році світові виробничі потужності біополімерів склали 2.47 мільйона тон, а до 2029 року повинні зрости до понад 5.7 мільйонів тон. Основними напрямками для використання біополімерів залишаються пакування, сільське господарство та виготовлення одноразового посуду. Водночас їх висока вартість і технологічна обмеженість виробництва все ще стримують їх масове виробництво та впровадження на ринок. [5], [6]

Зважаючи на те, що розробка і запровадження виробництва екологічних замінників традиційних полімерних матеріалів відбувається доволі повільно через згадані вище причини, виникає потреба у створенні методів модифікації уже наявних синтетичних матеріалів, що дасть можливість забезпечити їх відповідність більш жорстким і специфічним вимогам, а також розширить їх застосування.

Загалом модифікацію полімерних матеріалів для коригування їх властивостей можна проводити одним або кількома з нижче наведених способів, вказаних в джерелі [7]:

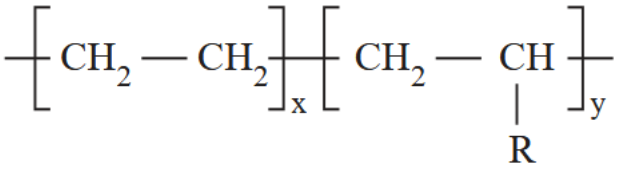
1. Кополімеризації двох і більше мономерів.
2. Постполімеризаційних процесів та реакцій за участі функціональних груп, навмисно введених до основного чи бічного ланцюга полімеру.
3. Використання відповідних добавок під час або після полімеризаційних процесів, що корегують ті чи інші властивості даного типу матеріалів.

Надалі ми коротенько розглянемо ці методи вдосконалення полімерних матеріалів, а також наведемо деякі приклади, що описуватимуть конкретне застосування кожного з них.

1.2. Модифікація полімерів кополімеризацією мономерів [7]

Модифікація макромолекулярної структури шляхом кополімеризації різних мономерів призводить до створення низки полімерів, що мають важливе комерційне значення. Склад кополімеру може варіюватися у широких межах, забезпечуючи таким чином широкий спектр експлуатаційних і технологічних властивостей. До складу кополімеру може входити приблизно однакова кількість складових мономерів і у цьому випадку властивості утворених кополімерів суттєво відрізнятимуться від тих, якими володіють відповідні гомополімери, а в ситуації коли кополімер міститиме один з мономерів у більшій кількості його загальні фізичні властивості будуть схожими до гомополімеру основного компонента, неосновний гомополімер надаватиме кополімеру специфічні хімічні властивості.

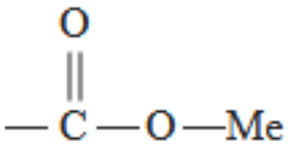
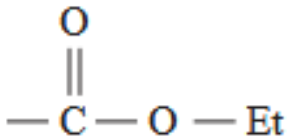
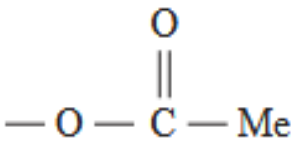
Прикладом слугує кополімеризація етилену з полярними α-олефінами, що дає можливість отримувати широкий спектр продуктів — від гумоподібних до таких, які



мають низьку температуру плавлення (придатних для використання в ролі гарячих клеїв), і до тих, що мають виняткову гнучкість та ударну міцність. Цей тип полімерів можна зобразити загальною формулою

де R — полярна група, приклад яких наведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Кополімери етилену	
R	Назва кополімеру
	Етилен-метилакрилат (EMA)
	Етилен-етилакрилат (EEA)
	Етилен-вінілацетат (ЕВАц)

Уведення мономерів з полярними бічними групами призводить до утворення сильно розгалужених кополімерів з підвищеною міжланцюговою взаємодією. Таким чином порівняно з гомополімером ці кополімери мають покращену гнучкість, ударну міцність, стійкість до розтріскування під напругою, стійкіть до впливу олій і жирів, прозорість та атмосферостійкість. Наприклад, EEA має гнучкість, подібну пластифікованому вінілу, але без проблем термічної нестабільності та міграції пластифіуатора, які властиві полівінілхлориду. Загалом спектр властивостей кополімеру можна змінювати, змінюючи його молекулярну масу.

1.3. Модифікація полімерів постполімеризацією [7]

Як зазначалося раніше, ще одним потужним інструментом для покращення властивостей полімерів є післяполімеризаційні реакції вже сформованих полімерів. Ці реакції можуть відбуватись на реакційно здатних центрах, розміщених у головному ланцюзі полімеру. До таких реакцій належать подовження ланцюга, зшивання, а також утворення гетеро- та блоккополімерів. Реакції також можуть відбуватись на реакційно здатних центрах, які приєднані безпосередньо або через інші групи чи ланцюги до основного ланцюга полімеру. До таких реакцій належать галогенування, сульфування, гідроліз, епоксидування, обробка поверхні та інші різноманітні реакції полімерів. В обох випадках ці реакції перетворюють наявні полімери на такі, що мають нові та/або покращені властивості.

Прикладом такого типу модифікації полімерних матеріалів є реакції дериватизації целюлози (природного полімеру), які можуть перетворити цей матеріал, що володіє високою кристалічністю і жорсткістю за рахунок сильних міжмолекулярних водневих зв’язків, і який важко піддається обробці, на такий, що легко піддається формуванню. Важливим при проведенні цієї реакції є контроль процесу заміщення гідроксильних груп у полімерній ланці, адже повна реакція є небажаною.

Найпоширенішими похідними целюлози, отримані за таким методом є естери, одержані при реакції з карбоновими кислотами, ангідридами та хлорангідридами.

Відомим прикладом є нітроцелюлоза, яку отримують при реакції з нітратною та сульфатною кислотою:

$$\mathrm{Cell{-}OH + HNO_3 \rightleftarrows Cell{\pm}O{\pm}NO_2 + H_2O}$$

У цьому випадку ступінь нітрування визначає сферу застосування продукту: при вмісті азоту 10,5–12% використовують у пластиках і лаках, а з вмістом понад 12,5% — у виробництві вибухових речовин.

1.4. Використання добавок для модифікації полімерів [7], [8]

У полімерні матеріали додаються різні типи добавок, які виконують специфічні функції, покращуючи експлуатаційні, фізико-механічні, хімічні та естетичні властивості полімерів. Ефективність добавок залежить не лише від їхньої хімічної структури, але й від фізичних параметрів, таких як температура плавлення, молекулярна маса тощо. Тому правильний підбір добавок має важливе значення для досягнення бажаних характеристик кінцевого продукту.

Однією з основних груп добавок є поверхнево-активні модифікатори. До них належать антиблокувальні агенти, які запобігають злипанню плівок, антизапотівальні речовини, що перешкоджають утворенню конденсату, антистатики для зменшення накопичення електростатичних зарядів, а також змащувальні речовини, які полегшують вивільнення виробу з форми та зменшують тертя на поверхні.

До хімічних модифікаторів відносяться антиоксиданти, що запобігають термічному або окиснювальному руйнуванню полімеру, біоциди для захисту від біологічної деградації, антипірени для зниження горючості, а також УФ-стабілізатори, які забезпечують стійкість до дії ультрафіолетового випромінювання.

Механічні модифікатори застосовують для поліпшення фізико-механічних властивостей полімерів. Наприклад, наповнювачі зменшують вартість матеріалу та можуть змінювати жорсткість, модифікатори ударної в’язкості підвищують стійкість до механічних навантажень, а агенти нуклеації сприяють контролю кристалізації.

Армуючі волокна, як-от скловолокно або натуральні волокна, значно підвищують міцність і жорсткість матеріалів.

До естетичних модифікаторів належать барвники та пігменти, які забезпечують бажаний колір, а також ароматизатори, що надають приємного запаху або маскують небажані запахи.

Окрему категорію становлять спеціалізовані добавки. Сюди входять агенти затвердіння, які сприяють полімеризації; прозорі агенти, що підвищують прозорість матеріалу; подовжувачі ланцюгів для збільшення молекулярної маси; а також антипластифікатори, що зменшують гнучкість полімеру.

Також зростає інтерес до добавок природного походження — наприклад, крохмалю, деревного борошна або натуральних волокон. Вони можуть частково замінювати синтетичні компоненти й знижувати екологічне навантаження.

Загалом добавки вводять у полімерні матеріали для захисту від старіння, ультрафіолетової деградації, окиснення, для покращення термічної та механічної стабільності, полегшення обробки, надання кольору, блиску, гнучкості, а також з метою зниження вартості й відповідності нормам безпеки у харчовому чи технічному застосуванні. Правильно підібрані добавки дають змогу значно розширити сферу застосування полімерів і підвищити якість кінцевої продукції.

Важливою групою є модифікатори процесу переробки. Вони включають агенти спінення, що утворюють пористу структуру, агенти зшивання, які створюють поперечні зв’язки між полімерними ланцюгами, теплостабілізатори, що запобігають руйнуванню полімеру під час термообробки, а також пластифікатори, які забезпечують гнучкість і знижують температуру склування. До цієї групи також належать процесингові добавки, які покращують текучість розплаву та полегшують його формування.

Дана бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена третьому методу модифікації полімерних матеріалів, а точніше — одному з типів сполук, що

застосовуються при реалізації цього підходу, а саме пластифікаторам. Чому для огляду було обрано саме цей тип модифікаторів синтетичних матеріалів? Відповідь доволі проста. Як уже згадувалося, через значну кількість екологічних ризиків, пов’язаних із використанням традиційних полімерів, виникає потреба у створенні їхніх екологічно безпечніших альтернатив, які водночас зберігатимуть або покращуватимуть функціональні властивості матеріалів.

Перспективним напрямом удосконалення споживчих характеристик полімерних матеріалів є розробка альтернативних модифікаторів, зокрема пластифікаторів, що входять до їх складу. Особливу увагу приділяють створенню нових типів пластифікаторів на основі естерів і поліестерів, цитратів, адипінатів, сукцинатів та інших біоорієнтованих сполук. Зокрема, поліадипінатні та цитратні пластифікатори знаходять дедалі ширше застосування у виробництві пакувальних матеріалів, медичних виробів, плівок та іграшок. [9]

Надалі ми трошки більше розглянемо цей тип сполук, розглянемо загальні методи виробництва цього класу сполук, проведемо короткий огляд сировини для виробництва заявленої сполуки, а також трошки проаналізуємо загальний механізм даного нам процесу.

1.5. Огляд пластифікаторів [10]

На мою думку, починати цей розділ варто з узагальнення цього поняття і того, що під ним розуміють. Пластифікатори — це органічні сполуки, що використовуються для модифікації властивостей полімерів, зокрема для надання їм еластичності, морозостійкості, зниження температури переробки. Пластифікатори повинні бути сумісними з полімеромами, мати низьку леткість або низький вміст низькомолекулярних фракцій, володіти високою хімічною стійкістю та ефективною пластифікуючою дією. Крім того, залежно від області застосування до пластифікаторів висуваються додаткові вимоги: вони повинні бути безбарвними, без запаху, нетоксичними, стійкими до екстракції водою, оліями, жирами та мийними

засобами, а також до дії випромінювання, світла, вогню, плісняви. І, нарешті, пластифікатори повинні мати низьку вартість.

Як пластифікатори можуть використовуватися органічні сполуки найрізноманітніших класів. Проте найбільш широке промислове застосування як пластифікатори полімерів знайшли естери — похідні органічних кислот (диестерні пластифікатори) та ортофосфорної кислоти (фосфорвмісні пластифікатори), а також поліестери (поліестерні пластифікатори). Обсяг промислового виробництва дистерних пластифікаторів (сполук з двома естерними групами в молекулі) становить 85—90 % від загального обсягу їх виробництва.

До диестерних пластифікаторів належать естери аліфатичних (від щавлевої до 1,10-декандикарбонової) та ароматичних (о-, м-, п-фталевих) дикарбонових кислот і аліфатичних або циклічних спиртів від C_1 до C_{13}; естери насичених аліфатичних монокарбонових кислот від C_6 до C_{18} (2-етилгексанової, каприлової, капринової, стеаринової тощо) і несиметричних монокарбонових кислот від C_{16} до C_{24} (одноосновних жирних кислот соєвої або талової олії) з аліфатичними або циклічними спиртами від C_4 до C_{13}. До них також належать естери триметилолпропану і пентаеритриту з аліфатичними спиртами від C_4 до C_9.

На сьогодні фталати забезпечують понад 40 типів пластифікаторів. Основна їх кількість (до 85 %) використовується для модифікації ПВХ — одного з найбільш масових полімерів. Попри широке поширення та ефективність фталевих пластифікаторів у забезпеченні гнучкості полівінілхлоридних матеріалів, питання щодо їхньої безпечності виникало ще в другій половині XX століття. Різноманітні наукові дослідження та суспільні обговорення виявили низку факторів, які викликали занепокоєння [11]:

1. Канцерогенна активність. У 1980-х роках дослідження Національного інституту раку США показали, що деякі фталати, зокрема ди(2-етилгексил)фталат, спричиняли розвиток гепатоцелюлярної карциноми та аденом у щурів і мишей за умов високого споживання. Хоча подальші

дослідження виявили, що метаболізм цих роговин у тварин суттєво відрізнявся від людського і що канцерогенна дія слабшала при зменшенні доз, ди(2-етилгексил)фталат усе ж залишався класифікованим як потенційно канцерогенна речовина для людини.

2. Потенційна ендокринна активність. В останні десятиліття XX століття зростала кількість даних, які свідчили про можливість фталатів діяти як ендокринні деструктори — сполуки, що порушують гормональну регуляцію в організмі. Вони імітували дію естрогенів і впливали на репродуктивну систему, особливо у період ембріонального розвитку, у немовлят та дітей. Ці ефекти спостерігалися навіть за надзвичайно низьких концентрацій.
3. Вплив на репродуктивне здоров'я. Результати експериментів на лабораторних тваринах свідчили про негативний вплив фталатів на чоловічу фертильність. Зокрема, було встановлено, що навіть надзвичайно низькі дози бутилбензилфталату зменшували розмір яєчок і пригнічували продукцію сперми у щурів. Це спричинило обґрунтовані побоювання щодо впливу фталатів на репродуктивне здоров'я людини.
4. Забруднення харчових продуктів і довкілля. У Великобританії було зафіксовано випадки виявлення залишків фталатів у дитячому харчуванні. Ймовірним джерелом забруднення вважали гнучкі полівінілхлоридні матеріали, зокрема ті, що використовувалися в процесі виробництва чи пакування продуктів харчування. Цей факт викликав особливу стурбованість через потенційний ризик для здоров'я дітей.
5. Стійкість у довкіллі та біоакумуляція. Фталати відзначалися високою екологічною стійкістю та здатністю накопичуватись у ґрунтах, воді й живих організмах. Їхня присутність у різних компонентах біосфери становила загрозу як для здоров'я людей, так і для екологічного балансу в цілому.

1.6. Сировина для виробництва пластифікаторів [10]

Пластифікатори, що широко застосовуються у виробництві полімерних матеріалів, є переважно естерами, отриманими внаслідок взаємодії кислот або їхніх

похідних зі сполуками, що містять гідроксильні групи. До основних реагентів у цьому процесі належать ангідриди, хлорангідриди, а також аліфатичні й ароматичні спирти, гліколі та феноли. У промисловості найбільш поширеними кислотними компонентами є ароматичні дикарбонові кислоти, зокрема ортофталева кислота, її ангідрид та їх похідні. Альтернативно застосовують малеїновий, тримелітовий ангідриди, ангідриди моно- ди- три- та тетракарбонових аліфатичних кислот, а також метилмалеїновий ангідрид, 4,5-диметилфталеву кислоту тощо.

Серед ароматичних кислот основним джерелом для синтезу естерних пластифікаторів є о-фталевий ангідрид, який зазвичай характеризується високим ступенем чистоти. Втім, у технічних зразках можуть бути присутніми домішки — ізофталева кислота, малеїновий ангідрид, 1,4-нафтол, антрахінон, фталімід, нафталін, що істотно впливають на якість готових пластифікаторів. У зв’язку з цим відповідні стандарти регламентують допустимий вміст зазначених домішок.

У деяких випадках застосовуються дешевші джерела кислот — фталеві дистиляти або продукти окиснення лігніну. Також використовуються моно- і дикарбонові жирні кислоти: стеаринова, щавлева, янтарна, глутарова, адипінова тощо. Певна частина пластифікаторів виготовляється на основі очищених жирів або олій (таллової, соєвої, лляної), які містять насичені (пальмітинова, стеаринова) і ненасичені (олеїнова, лінолева, ліноленова) кислоти. Додатково застосовуються синтетичні жирні кислоти C_7–C_9, зокрема 2-етилгексанова, що може містити домішки естерів, вуглеводнів і спиртів (2-етилгексанолу та його ізомерів).

Серед спиртів, які використовуються при естерифікації кислотами, важливе місце посідають первинні аліфатичні спирти, зокрема 2-етилгексанол, який становить до 80 % сировини для виробництва естерних пластифікаторів. Його отримують шляхом альдольної конденсації бутаналю з ацетальдегідом або гідроформілюванням бутену. Технічний продукт містить низку ізомерів: 3-метил-2-гептанол, 4-метил-1-гептанол, 3,4-диметилпентанол-1, 2-етилгександіол-1,3 тощо. Інші первинні спирти, зокрема ізооктановий, ізодекановий, бутановий, ізобутановий також знаходять

застосування. Вторинні спирти, зважаючи на їхню нижчу реакційну здатність та термостійкість відповідних естерів, у промисловості майже не використовуються, за винятком октанолу-2 — втор-октилового спирту, побічного продукту одержання себацинової кислоти з рицинової олії.

Для виробництва диестерних пластифікаторів, використовують гліколі: етиленгліколь, діетиленгліколь, триетиленгліколь, 1,2-пропіленгліколь і неопентилгліколь. Їх одержують шляхом оксиетилювання, гідратації пропіленоксиду або конденсації ізомасляного альдегіду з формальдегідом. Для спеціальних марок пластифікаторів застосовують бутилцелозольв (бутилгліколь), який синтезують шляхом оксиетилювання н-бутанолу. Його склад може включати такі домішки: н-бутанол, бутиловий естер масляної кислоти, етилен- і діетиленгліколь, ненасичені та карбонільні сполуки, які можуть негативно впливати на колір продукту.

Циклічні спирти, зокрема циклогексиловий і бензиловий, використовуються при синтезі діестерних пластифікаторів, а у виробництві фосфорорганічних — фенол і алкілфеноли (крезол, ксиленоли, ізопропілфенол, п-ізобутилфенол). Джерелами алкілфенолів є кам’яновугільна смола або газойль нафтопереробки, а також окиснення толуолу або ксилолу. Ізомерний склад значною мірою залежить від способу синтезу: найвищу реакційну здатність мають мета-ізомери, далі — пара- та орто-ізомери. Оскільки о-крезол є найбільш токсичним, промисловість застосовує суміш із його його орто, пара та мета форм (трикрезоли) з обмеженим (до 3 %) вмістом орто-ізомерів або дикрезоли, які складаються з суміші мета- та пара-ізомерів.

Вітчизняні та міжнародні стандарти встановлюють вимоги до якості сировини для виробництва пластифікаторів. Основними є: високий вміст основної речовини, мінімальний вміст ненасичених, карбонільних і неомиляємих сполук, а також обмежена кількість домішок вуглеводнів, моноестерів і спиртів. Такі підходи забезпечують стабільність процесу естерифікації та високу якість готового продукту.

1.7. Традиційні методи виробництва пластифікаторів [10]

Виробництво пластифікаторів є складним багатостадійним процесом, який включає підготовку сировини, синтез естерів, нейтралізацію залишків каталізаторів, промивку, відгонку летких речовин, осушення, фільтрацію, ректифікацію оборотних спиртів і очищення кінцевого продукту. Процес може реалізовуватись як у періодичному, так і в безперервному режимі залежно від технічних та економічних умов виробництва. Технологічна схема виробництва пластифікаторів (наприклад, ди(2-етилгексил)фталату) передбачає використання естерифікатора, де відбувається реакція естерифікації між фталевим ангідридом і спиртом. Після завершення реакції суміш обробляється для нейтралізації залишкових кислот або каталізаторів, очищується від побічних продуктів, спиртів, летких домішок, а потім проходить стадії фільтрації та ректифікації.

У сучасному виробництві перевага надається автоматизованим установкам із точним регулюванням температури, тиску, подачі реагентів та моніторингом параметрів реакції, що дозволяє досягати стабільної якості продукції при мінімальних витратах енергії та сировини. Залежно від специфіки виробництва використовують різні технологічні підходи до синтезу пластифікаторів.

Перший і найпоширеніший метод — періодичний синтез із використанням кислотного каталізатора, переважно концентрованої сульфатної кислоти. Реакція проводиться при температурі 130–140 °C. Після завершення естерифікації залишки кислоти нейтралізують лужним розчином, продукт промивають водою, видаляють залишки спиртів, а готовий естер фільтрують та очищають. Основними перевагами цього способу є відносна простота реалізації та недороге обладнання. Водночас він супроводжується утворенням агресивного середовища, вимагає стадії нейтралізації, пов’язаної з утворенням великої кількості стічних вод, та характеризується підвищеними втратами спиртів.

Другий метод — безперервний синтез без використання каталізатора (метод BASF). Він передбачає проведення реакції при температурі 200–250 °C і тиску 600–700 кПа. У цьому випадку використовуються високотемпературні теплоносії, а

каталіз не потрібен, що усуває необхідність у подальшій нейтралізації. Основною перевагою є простота очищення кінцевого продукту. Однак процес вимагає складного високотемпературного обладнання, значних енерговитрат, а також ретельного контролю для запобігання утворенню побічних продуктів, зокрема моноестерів, які потрібно рециркулювати.

Третій метод — безперервний синтез із застосуванням амфотерних каталізаторів, наприклад оксидів алюмінію або спеціалізованих каталітичних систем типу «Халс». Реакція відбувається за помірніших температур (150–180 °C) та тиску (400–600 кПа), але з високим ступенем перетворення (до 99,5 %). Цей метод дозволяє зменшити кількість побічних продуктів, уникнути нейтралізації, а також рециркулювати залишкові спирти. Серед його переваг — висока якість продукції та економічність. Проте реалізація потребує точного дотримання параметрів процесу та складніших систем контролю.

Таким чином, виробництво пластифікаторів базується на широкому спектрі технологічних підходів, вибір яких залежить від необхідного обсягу продукції, якості кінцевого продукту, вимог до екологічності виробництва та економічної доцільності. Безперервні методи з каталітичним або некаталітичним естерифікуванням поступово витісняють класичні періодичні процеси завдяки вищій ефективності, однак останні все ще широко застосовуються через простоту, доступність і перевірену на практиці надійність.

1.8. Огляд заявленого методу синтезу пластифікатора [12] – [16]

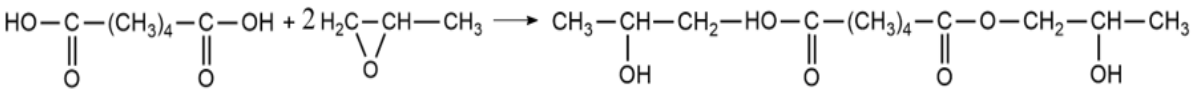
У межах сучасних тенденцій розвитку екологічно безпечних і енергоефективних технологій новий метод синтезу пластифікаторів, що базується на взаємодії адипінової кислоти з оксидом пропілену без використання каталізатора при температурі 160 °C, викликає значну зацікавленість. Цей метод розглядається як перспективна альтернатива традиційним естерифікаційним процесам, які зазвичай потребують участі кислотних або основних каталізаторів. Основними перевагами

цього підходу є нижча токсичність, спрощена очистка кінцевого продукту та зменшення утворення побічних речовин. [12]

У даному процесі обидві карбоксильні групи адипінової кислоти реагують з молекулами оксиду пропілену у співвідношенні 1:2. Внаслідок нуклеофільного розкриття епоксидного кільця утворюються естерні зв'язки та гідроксильні групи, і як результат формується симетричний дигідроксиестер. Ця речовина має амфіфільну структуру та може ефективно застосовуватися як пластифікатор для різноманітних полімерних матриць. [13]

Механізм реакції полягає в тому, що при нагріванні суміші адипінової кислоти та епоксиду пропілену до температури 160 °C у відсутності каталізатора відбувається нуклеофільне ацилювання, що супроводжується відкриттям епоксидного кільця. У цих умовах одна або обидві карбоксильні групи адипінової кислоти можуть частково дисоціювати з утворенням карбоксилат-аніонів, які здатні атакувати менш стерично заваджену частину епоксидного кільця. У результаті нуклеофільної атаки відбувається відкриття оксиранового кільця за механізмом S_N2 і утворення β-гідроксиестерних структур. У разі наявності достатньої кількості епоксиду можливе утворення моно- або діестерів адипінової кислоти з вбудованими вторинними гідроксильними групами. [14], [15]

Отримані β-гідроксиестери можуть далі реагувати з іншими молекулами епоксиду або з вільними карбоксильними групами, що потенційно призводить до формування олігомерів або початку процесу утворення естерних сіток. У разі надлишку епоксиду й підвищеної температури також можуть відбуватися побічні процеси, такі як термічне декарбоксилювання з утворенням CO_2 або часткове зшивання молекул, зумовлене взаємодією гідроксильних і карбоксильних груп. [12] Цільовий продукт даного процесу ми отримує за такою схемою перетворення:



Кінетика цієї реакції підпорядковується закону псевдопершого порядку, якщо оксид пропілену подається в надлишку. Підвищення температури до 160 °C

забезпечує зниження енергетичного бар’єру реакції, а отже, її перебіг навіть за відсутності каталізатора. Важливими факторами для досягнення високої вихідної ефективності є чистота реагентів, ефективне перемішування та, за потреби, герметизація системи задля уникнення втрат летких компонентів. [13], [16]

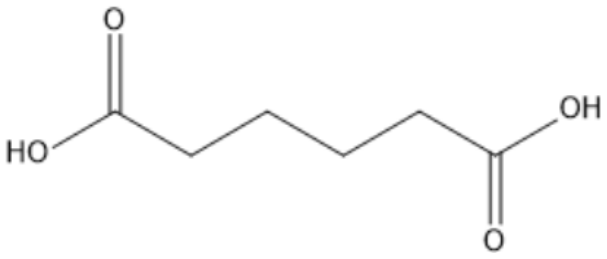
Порівняно з класичною естерифікацією за участю кислотних каталізаторів, даний підхід має низку очевидних переваг: відсутність необхідності у стадіях нейтралізації та промивання, мінімальне утворення побічних продуктів (вода не утворюється), зниження ризику гідролізу продукту. Крім того, наявність вільних гідроксильних груп у молекулі відкриває шлях до подальших функціональних модифікацій або зшивання в полімерні сітки, що значно знижує ризик міграції пластифікатора в навколишнє середовище. [14], [15]

Таким чином, синтез пластифікаторів на основі адипінової кислоти та оксиду пропілену без каталізатора є ефективним і екологічно безпечним підходом, який поєднує простоту реалізації, стабільність процесу та якість продукту. Отримані сполуки можуть широко застосовуватись у виробництві полівінілхлориду, поліестерів, поліуретанів та інших полімерів.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ, ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Адипінова кислота [17], [18]

Структурна формула:



Емпірична формула: $C_6H_{10}O_4$

Молекулярна маса : 146,14 г/моль

$T_{топл}$ = 153 °C

$T_{кип}$ = 265 °C

$T_{розкл}$ = 210–240 °C

Теплота утворення: $\Delta H_{утв}$ = − 994 кДж/моль

Густина : 1360 кг/м³

Теплоємність : c_p^0 = 225 Дж/(моль·К)

Зовнішній вигляд : за кімнатних умов ця речовина являє собою дрібні, білі та прозорі кристалики.

Розчинність : дана речовина має дуже хорошу розчинність в таких рідинах: етанол, метанол, ацетон, оцтова кислота, а також у воді в таких пропорціях: 14 г/л при 10°C, 24 г/л при 25°C, 1600 г/л при 100°C; не розчинна в бензолі та циклогексані.

Запах: дана речовина не володія характерним запахом.

Пропіленоксид [19], [20]

Молекулярна маса: 58,08 г/моль

$T_{топл}$ = − 112,1 °C

$T_{кип}$ = 34,2 °C

Структурна формула:

Емпірична формула: C_3H_6O

Густина: 831,3 кг/м³

Теплота утворення: $\Delta H_{утв}$ = - 132,5 кДж/моль

Теплоємність: c_p^0 = 146,6 Дж/(моль·К)

Зовнішній вигляд: дана речовина при кімнатних умовах являє собою прозору безбарвну рідину.

Розчинність: добре розчинний у воді й органічних розчинниках. Його розчинність у воді становить приблизно 40 г на 100 мл при 20 °C. Завдяки своїй полярній природі й наявності ефірної групи, ця сполука повністю змішується з широким спектром органічних розчинників, таких як етанол, діетиловий ефір, бензол, ацетон, тетрахлорметан та інші.

Запах: дана рідина володіє характерним для неї ефірним запахом.

Поліпропіленоксид [21], [22]

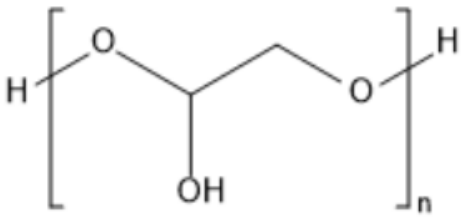
Властивості даної сполуки відрізняються в залежності від довжини її ланцюга а тому були наближено обрані з допомогою штучного інтелекту та вище перерахованих джерел.

Структурна формула: $C_{3n}H_{6n+2}O_{n+1}$

Молекулярна маса: 134 г/моль (димер), 176 г/моль (тример)

$T_{топл}$ = − 40 °C (димер), − 60 °C (тример)

Емпірична формула:



$T_{кип}$ = 160–165 °C (димер), 210–220 °C (тример)

Густина: 1020 кг/м^3 (димер), 1040 кг/м^3 (тример)

Зовнішній вигляд: обидві ці сполуки мають подібний зовнішній вигляд безбарвної або світло-жовтої в'язкої рідини.

Розчинність: обидва димер і тример поліпропіленоксиду є гідрофобними поліефірними сполуками, тому практично не розчиняються у воді. Натомість вони добре розчиняються в органічних розчинниках, особливо в неполярних (гексан, толуол, бензен) та хлорованих (хлороформ, дихлорметан). У полярних розчинниках, таких як кетони та ефіри (наприклад, ацетон), їх розчинність помірна або обмежена й залежить від температури. У спиртах (метанол, етанол) розчиняється слабо через полярність гідроксильних груп. У деяких складних ефірах також розчиняється, проте ступінь розчинності залежить від розчинника.

Запах: димер і тример поліпропілен оксиду володіють слабким ефірним запахом.

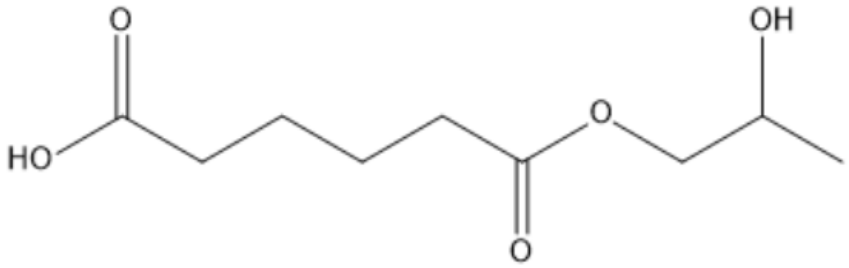
6-(2-гідроксіпропокси)-6-оксогексанова кислота (ME) [23]

Властивості цієї сполуки, через відсутність спеціалізованої довідкової літератури, були визначені наближено з допомогою штучного інтелекту — за аналогією зі спорідненою за хімічною будовою речовиною, а саме 6-(2-гідроксиетокси)-6-оксо-гексановою кислотою. [23]

Емпірична формула: $C_9H_{16}O_5$

Молекулярна маса: 204,22 г/моль

Структурна формула:



$T_{топл}$ = 108,18 °C

$T_{кип}$ = 376,49 °C

Густина: 1200 кг/м^3

Зовнішній вигляд: дана сполука існує у формі білих або кремових кристалів, може також мати аморфну структуру або в’язку консистенцію, схожу на віск.

Розчинність : у воді дана сполука проявляє помірну розчинність (приблизно 5–20 г на 100 мл, у полярних органічних розчинниках, таких як метанол або етанол, розчинність покращується завдяки взаємодії полярних груп сполуки з розчинником. Високі результати розчинення спостерігаються при змішуванні з такими розчинниками: ДМСО, ДМФА, які ефективно солюбілізують кислотні та гідроксильні групи. У хлороформі або дихлорметані розчинність є помірною, тоді як у неполярних розчинниках (гексан, толуол) сполука практично нерозчинна.

Запах: оскільки молекула має високу молекулярну масу та полярність, вона є малолеткою, тому в очищеному стані не має запаху.

Біс(2-гідроксипропіл) адипінат (ДЕ) [24]

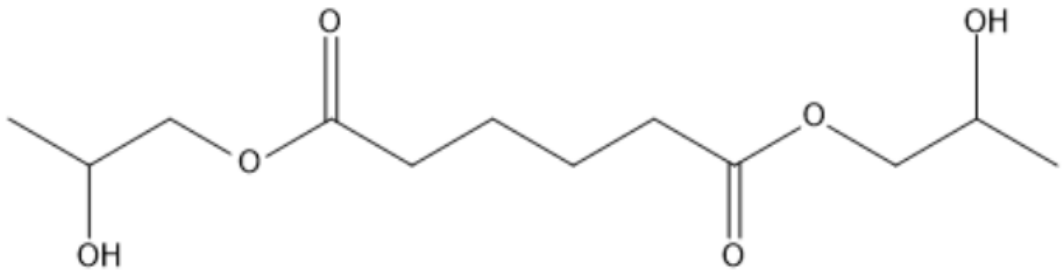
Властивості цієї сполуки, через відсутність спеціалізованої довідкової літератури, були визначені наближено з допомогою штучного інтелекту — за аналогією зі спорідненою за хімічною будовою речовиною, а саме біс(2-гідроксіетил) адипінатом. [24]

$T_{топл}$ = 10–12 °C

$T_{кип}$ = понад 280 °C

$T_{розкл}$ = 280–300 °C

Структурна формула:



Емпірична формула: $C_{12}H_{22}O_6$

Молекулярна маса: 262,3 г/моль

Густина: 1140 кг/м³

Зовнішній вигляд : безбарвна або світло-жовта рідина, яка, в порівняння з іншими поширеними представниками пластифікаторів полімерних матеріалів, володіє середньою в’язкістю і по консистенції нагадує соняшникову олію.

Розчинність: добре розчиняється в полярних органічних розчинниках, таких як етанол, метанол, ацетон і діоксан, завдяки наявності гідроксильних груп. У воді сполука має обмежену розчинність, а в неполярних розчинниках, таких як гексан або толуол, розчиняється погано. Також добре розчиняється в органічних ефірах і естерах, таких як діетиловий ефір і метиловий ацетат.

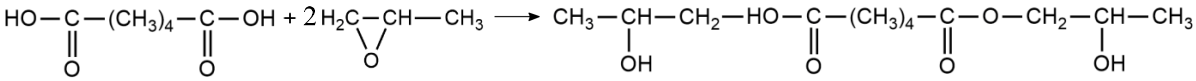
Запах: володіє типовим для багатьох пластифікаторів запахом.

РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС

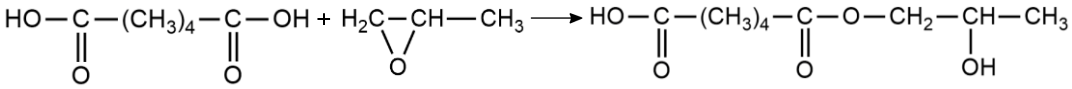
3.1. Хімізм одержання пластифікатора і коефіцієнти виходу по стадіях

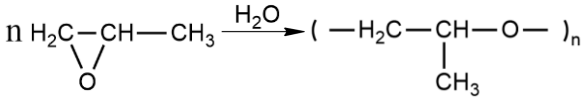
1. Утворення пластифікатора…… $\eta_1 = 0{,}98$

Основна реакція (1):



Побічні реакції (2, 3):





2. Відгон надлишку пропіленоксиду..…… $\eta_2 = 0{,}99$

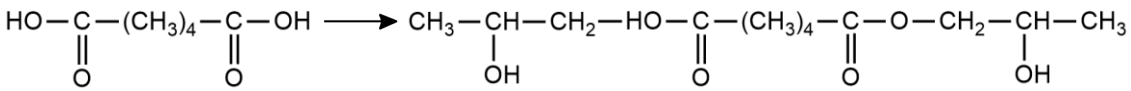
3. Регенерація пропіленоксиду...……

_____

$\eta_{заг} = 0{,}9702$

3.2. Розрахунок витрати вихідного реагенту адипінової кислоти на 1 тонну 100%-ного пластифікатора

Утворення пластифікатора (біс(2-гідроксипропіл) адипінату) з адипінової кислоти відповідає такому стехіометричному співвідношенню:



$M_{АК}$ = 146 г/моль $M_{ДЕ}$ = 262 г/моль

Витрата 100%-ної адипінової кислоти для одержання 1 тонни 100%-ного пластифікатора складе:

$$x = \frac{146 \cdot 1000}{262} = 557{,}25 \text{ кг}$$

Витрата 100%-ної адипінової кислоти з урахуванням загального коефіцієнта виходу ($\eta_{заг}$=97,02%):

$$\frac{557,25}{0,9702} = 574,37 \text{ кг}$$

Витрата технічної 99.7%-ної адипінової кислоти рівна:

$$\frac{574,37}{0,997} = 576,10 \text{ кг}$$

Згідно ДСТУ 7311:2013 технічна адипінова кислота має такий склад відповідно з [25]:

а) Адипінової кислоти……99,7%

б) Води……0,3%

Таким чином у 576,1 кг технічної адипінової кислоти міститься:

а) Адипінової кислоти

$$576,1 \cdot 0,997 = 574,37 \text{ кг}$$

б) Води

$$574,37 \cdot 0,3 = 1,73 \text{ кг}$$

Згідно з регламентними даними операційне завантаження технічної адипінової кислоти складає 146 кілограм.

Перерахунковий коефіцієнт від операційного завантаження до завантаження на 1 тонну готового продукту:

$$K = \frac{576,10}{146} = 3,95$$

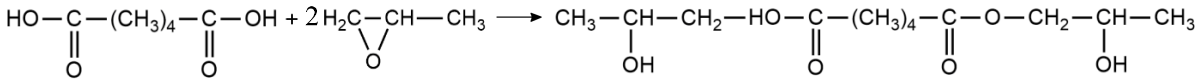
3.3. Постадійні матеріальні розрахунки

3.3.1. Стадія 1. Одержання пластифікатора

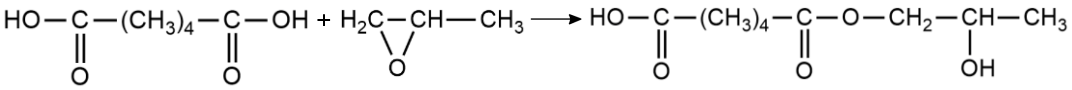
$\eta_1 = 0{,}98$

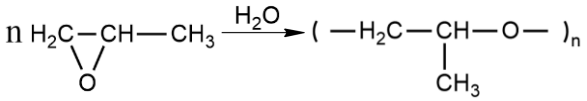
Хімізм процесу.

Основна реакція (1):



Побічні реакції (2, 3):





Згідно з регламентними даними операційні завантаження на даній стадії такі:

а) технічна адипінова кислота……..…..……146,0 кг

б) технічний пропіленоксид……...…….348,0 кг

Завантажено

1.Технічна 99,7%-на адипінова кислота

$$146 \cdot K = 146 \cdot 3{,}95 = 576{,}70 \text{ кг}$$

в тому числі:

а) 100%-на адипінова кислота

$$576{,}7 \cdot 0{,}997 = 574{,}97 \text{ кг}$$

б) вода

$$576{,}7 \cdot 0{,}003 = 1{,}73 \text{ кг}$$

2. Технічний 99,5%-ний [26] пропіленоксид

$$348 \cdot K = 348 \cdot 3{,}95 = 1374{,}60 \text{ кг}$$

В тому числі:

а) 100%-ний пропіленоксид

$$1374{,}6 \cdot 0{,}995 = 1367{,}73 \text{ кг}$$

б) вода

$$1574{,}6 \cdot 0{,}005 = 6{,}87 \text{ кг}$$

Одержано

1. Пластифікатора

$$\frac{574{,}97 \cdot 0{,}98 \cdot 262}{146} = 1011{,}16 \text{ кг}$$

2. Моноестеру

$$\frac{574{,}97 \cdot 0{,}02 \cdot 204}{146} = 16{,}06 \text{ кг}$$

3. Поліпропіленоксиду

$$68{,}39 + 8{,}60 = 76{,}99 \text{ кг, так як:}$$

а) Пропіленоксид, що полімеризується:

$$1367{,}73 \cdot 0{,}05 = 68{,}39 \text{ кг}$$

б) Вода, що вступає в реакцію полімеризації:

$$6{,}87 + 1{,}73 = 8{,}60 \text{ кг}$$

4. Пропіленоксиду:

$$1367{,}73 - (447{,}69 + 4{,}57 + 68{,}39) = 847{,}08 \text{ кг, так як:}$$

а) витрачено за реакцією (1):

$$\frac{574{,}97 \cdot 0{,}98 \cdot 58 \cdot 2}{146} = 447{,}69 \text{ кг}$$

б) витрачено за реакцією (2):

$$\frac{574{,}97 \cdot 0{,}02 \cdot 58}{146} = 4{,}57 \text{ кг}$$

б) витрачено за реакцією (3):

$$1367{,}73 \cdot 0{,}05 = 68{,}39 \text{ кг}$$

Матеріальний баланс стадії одержання пластифікатора

Таблиця № 3.1

Завантажено

№ п/п	Назва продукту	Маса технічного продукту, кг	Вміст, %	Маса 100%-го продукту, кг
1	Адипінова	576,70	99,70	574,97
2	Пропіленоксид	1374,60	99,50	1367,73
	Всього	1951,30		

Таблиця № 3.2

Одержано

№ п/п	Назва продукту	Маса 100%-го продукту, кг
1	Диестер	1011,16
2	Моноестер	16,06
3	Поліпропіленоксид	76,99
4	Пропіленоксид	847,08
	Всього	1951,30

3.3.2. Стадія 2. Відгін надлишку пропіленоксиду

$\eta_2 = 0{,}99$

На даній стадії виробничого процесу з реакційної маси відганяється залишок пропіленоксиду разом з частиною поліпроіленоксиду. На частку відігнаного

циклічного оксиду припадає 99% від початкової завантаженої кількості на цій стадії, на полімер – 70%, а на диестер – 1%.

Отже, на початку цієї стадії маси компонентів реакційної суміші будуть відповідати значенням, вказаним у таблиці 3.2.

При проведенні процесу відгону надлишку непрореагованого пропіленоксиду склад відігнаної суміші буде таким:

1. Диестер

$$847{,}08 \cdot 0{,}99 = 838{,}61 \text{ кг}$$

2. Поліпропіленоксид

$$76{,}99 \cdot 0{,}7 = 53{,}89 \text{ кг}$$

3. Пропіленоксид

$$1011{,}16 \cdot 0{,}01 = 11{,}16 \text{ кг}$$

Відповідно склад кубового залишку, який одержимо після завершення цього процесу буде таким:

1. Диестер

$$1011{,}16 - 11{,}16 = 1000{,}00 \text{ кг}$$

2. Моноестер

відповідає масі, вказаній у таблиці 3.2

3. Поліпропіленоксид

$$76{,}99 - 53{,}89 = 23{,}10 \text{ кг}$$

4. Пропіленоксид

$$847{,}08 - 838{,}61 = 8{,}47 \text{ кг}$$

Матеріальний баланс стадії відгону надлишку пропіленоксиду

Таблиця № 3.3

Завантажено

№ п/п	Назва продукту	Маса 100%-го продукту, кг
1	Диестер	1011,16
2	Моноестер	16,06
3	Поліпропіленоксид	76,99
4	Пропіленоксид	847,08
	Всього	1951,30

Таблиця № 3.4

Відігнано

№ п/п	Назва продукту	Маса 100%-го продукту, кг
1	Диестер	11,16
2	Поліпропіленоксид	53,89
3	Пропіленоксид	838,61
	Всього	903,66

Таблиця № 3.5

Кубовий залишок

№ п/п	Назва продукту	Маса 100%-го продукту, кг
1	Диестер	1000,00
2	Моноестер	16,07
3	Поліпропіленоксид	23,10

4	Пропіленоксид	8,47
	Всього	1047,64

3.3.3. Стадія 3. Регенерація оксиду пропілену

Відігнаний на стадії (2) пропіленоксид, що містить поліпропіленоксид та невелику кількість пластифікатора перекачують у випарний апарат, споряджений дефлегматором і холодильником-конденсатором. Повільно відганяють пропіленоксид і внаслідок цього процесу з суміші випаровується приблизно 95 % циклічного оксиду, який збирають у збірник та повертають на стадію синтезу.

Склад суміші, з якої буде проводитись регенерація пропіленоксиду на цій стадії буде відповідати складу відгону, вказаному в таблиці 3.4.

При відгоні від суміші відділятиметься пропіленоксид маса якого буде такою:

$$838{,}61 \cdot 0{,}95 = 796{,}68 \text{ (кг)}$$

Домішки цільового продукту та поліпропіленоксиду на даній стадії не відганяються і йдуть у кубовий залишок, масовий склад якого буде таким:

1. Диестер

   відповідає масі, вказаній у таблиці 3.6

2. Поліпропіленоксид

   відповідає масі, вказаній у таблиці 3.6

3. Пропіленоксид

$$838{,}61 - 796{,}68 = 41{,}93 \text{ кг}$$

Матеріальний баланс стадії регенерації відігнаного пропіленоксиду

Таблиця № 3.6

Завантажено

№ п/п	Назва продукту	Маса 100%-го продукту, кг
1	Диестер	11,16
3	Поліпропіленоксид	53,89
4	Пропіленоксид	838,61
	Всього	903,66

Таблиця № 3.7

Відігнано

№ п/п	Назва продукту	Маса 100%-го продукту, кг
1	Диестер	0
2	Поліпропіленоксид	0
3	Пропіленоксид	796,68
	Всього	796,68

Таблиця № 3.8

Залишок

№ п/п	Назва продукту	Маса 100%-го продукту, кг
1	Диестер	11,16
2	Поліпропіленоксид	53,89
3	Пропіленоксид	41,93
	Всього	106,98

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ТА ЇЇ ОПИС

У реактор Р1, що має об’єм 2 м^3, обладнаний лопатевою мішалкою та оболонкою, завантажують пропіленоксид зі сховища Сх1 через мірник М1 за допомогою насоса Н1. Після цього з бункера Б1 шнековим транспортером Ш1 подається адипінова кислота. Завантаживши всю сировину, герметизуємо реактор, вмикаємо мішалку і протягом дев’яти годин проводимо процес. Для підтримання постійної температури реакції в оболонку реактора подають розігріту водяну пару, яка, виходячи з реактора Р1, проходить через конденсатовідділювач Кв1, після чого по загальнозаводській лінії відведення конденсату повертається до котельні.

Після завершення процесу припиняємо подачу пари в оболонку апарата і охолоджуємо рідку масу до температури 30–40 °С пуском в оболонку води, за рахунок чого тиск у реакторі знижується до атмосферного. Реактор Р1 сполучають із холодильником-конденсатором Х2, у трубний простір якого подають антифриз для охолодження парів, що виходитимуть з реактора Р1. Після досягнення необхідного діапазону температур пуском пари в кожух апарата нагрівають рідку масу до температури кипіння, відганяючи надлишки пропіленоксиду, конденсат якого збирається у збірнику Зб2. Опісля завершення відгону кубовий залишок із Р1 зливається у збірник Зб1, проходячи через холодильник Х1, що охолоджується водою, і в подальшому насосом Н2 відправляється на склад готової продукції.

Відігнану суміш пропіленоксиду з домішками зі збірника Зб2 перекачують насосом Н3 у перегінний куб В1, обладнаний оболонкою, у якому підтримується температура кипіння даного оксиду. Нагрів випарного апарата здійснюється водяною парою, охолодженою в теплообміннику Т1 за допомогою холодної води. Суміш пари й конденсату, пройшовши через оболонку випарника В1 і конденсатовідділювач Кв2, повертається на повторний нагрів у котельню. Унаслідок цього непрореагований пропіленоксид відділяється від суміші побічних продуктів і, пройшовши через насадкову колону К1, охолоджується в холодильнику Х3, у трубний простір якого подається вода, після чого він розділяється на дві частини: одна частина через сифон, що запобігає проходженню парів із колони К1 далі по системі, подається на зрошення колони, а інша — після доохолодження в холодильнику Х5 за допомогою антифризу,

що подається в його міжтрубний простір, надходить у збірник Зб4, з якого насосом Н5 повертається в сховище Сх1.

Кубовий залишок із випарного апарата В1 після завершення процесу розділення подається на охолодження в холодильник Х4, у міжтрубний простір якого подається вода, після чого надходить на зберігання у збірник Зб3 і з нього насосом Н4 перекачується в цех утилізації.

З огляду на температуру випаровування пропіленоксиду, усі ємності для його зберігання (Сх1, Зб4) додатково обладнані оболонками, через які прокачується антифриз для запобігання нагріванню цієї речовини в теплі пори року, а також для забезпечення рівномірного поступання парів в холодильники Х2 та Х3, рекомендується обладнати їх повітряними лініями.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1. Реактор Р1

Виходячи з річної продуктивності визначаємо добову продуктивність:

$$N_д = \frac{N}{n}$$

де *N* - продуктивність виробництва, т/рік;

n - ресурс робочого часу, діб/рік ($n = 330$);

$$N_д = \frac{320}{330} = 0.97 \text{ т/добу}$$

Перерахунковий коефіцієнт *K* від завантаження на 1 т готового продукту до добового завантаження дорівнює:

$$K = \frac{N_g}{1 \cdot m} = \frac{0.97}{1 \cdot 1} = 0.97$$

Визначаємо об'єм матеріалів, які переробляють на даній стадії за добу:

$$V_д = V_m \cdot K,$$

де V_m- об’єм реакційної маси на 1 тонну готового продукту, м^3;

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{1951.3}{831.3} = 2.35 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.1

$$V_д = 2.35 \cdot 0.97 = 2.28 \text{ м}^3$$

Приймаємо, що повний об'єм реактора $V_a = 2$ м^3, коефіцієнт заповнення апарату $\varphi = 0{,}75$, тоді робочий об’єм реактора дорівнюватиме:

$$V_P = V_a \cdot \varphi = 2 \cdot 0{,}75 = 1.5 \text{ м}^3$$

Число операцій, які проводяться на даній стадії впродовж доби:

$$\alpha = \frac{V_д}{V_P} = \frac{2.28}{1.5} = 1.52$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному реакторі впродовж доби:

$$\beta = \frac{24}{\tau} = \frac{24}{13.42} = 1.78 \text{ оп/добу}$$

де τ – час роботи реактора, год;

Розрахункова кількість реакторів визначається із співвідношення:

$$m_p = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1.52}{1.78} = 0.85 \text{ шт}$$

Кількість реакторів, які встановлюються, $m = 1$ шт.

Розраховуємо запас потужності реактора на даній стадії:

$$\sigma = \frac{m - m_p}{m_p} \cdot 100\% = \frac{1 - 0.85}{0.85} \cdot 100\% = 17.65\%$$

Оскільки запас потужності реактора знаходиться в межах 20%, то розрахунки проведено правильно і можна переходити до розрахунку наступних апаратів.

Реактор Р1: $V_a = 2$ м^3, $D = 1000$ мм, $H = 2750$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.2. Мірник М1

Визначаємо об'єм розчину пропіленоксиду, який переробляють на даній стадії за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{1374.6}{831.3} = 1.65 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.1

$$V_д = V_m \cdot K = 1{,}65 \cdot 0{,}97 = 1{,}6 \text{ м}^3$$

Розраховуємо робочий об'єм мірника:

$$V_р = \frac{V_д}{\alpha} = \frac{1.65}{1.53} = 1.05 \text{ м}^3$$

Маючи робочий об'єм мірника і прийнявши коефіцієнт заповнення апарату φ = 0,9 визначаємо повний розрахунковий об’єм мірника:

$$V_a^1 = \frac{V_P}{\varphi} = \frac{1.05}{0.9} = 1.17 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм мірника $V_a = 1.25$ м^3, який відповідає розрахунковому об'єму, і визначаємо реальний коефіцієнт заповнення:

$$\varphi_P = \frac{V_P}{V_a} = \frac{1.05}{1.25} = 0.84$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному мірнику впродовж доби:

$$\beta = \frac{24}{\tau} = \frac{24}{0.67} = 35.82 \text{ оп/добу}$$

Розрахункова кількість мірників:

$$m_p = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1.52}{35.82} = 0.04 \text{ шт}$$

Кількість мірників, які встановлюються, $m = 1$ шт.

Мірник М1: $V_a = 1.25$ м^3, $D = 1000$ мм, $H = 1800$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.3. Сховище пропіленоксиду Сх1

Визначаємо об'єм пропіленоксиду, який переробляють на даній стадії за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{1374.6}{831.3} = 2.61 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.1

$$V_д = V_m \cdot K = 2.61 \cdot 0{,}97 = 1.65 \text{ м}^3$$

Повний розрахунковий об'єм сховища визначається за такою формулою:

$$V_a^1 = \frac{V_д \cdot z}{\varphi \cdot n}$$

де Z - запас продукту в добах;

n - кількість сховищ, шт.

Прийнявши $n = 1$ шт, $Z = 3$ доба, $\varphi = 0{,}9$, знаходимо повний розрахунковий об'єм сховища:

$$V_a^1 = \frac{1.65 \cdot 3}{0.9 \cdot 1} = 1.83 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм сховища $V_a = 2$ м^3

Сховище Сх1: $V_a = 2$ м^3, $D = 1400$ мм, $H = 1500$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.4. Бункер адипінової кислоти Б1

Визначаємо об'єм адипінової кислоти, який переробляють на даній стадії за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{576.7}{1357.9} = 0.42 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.1

$$V_д = V_m \cdot K = 0.42 \cdot 0{,}97 = 0.41 \text{ м}^3$$

Повний розрахунковий об'єм бункера для кислоти визначається за такою формулою:

$$V_a^1 = \frac{V_д \cdot Z}{\varphi \cdot n} = \frac{0.41 \cdot 3}{0.9 \cdot 1} = 1.37 \text{ м}^3$$

де Z - запас продукту в добах;

n - кількість бункерів, шт.

Прийнявши $n = 1$ шт, $Z = 3$ доба, $\varphi = 0{,}9$, знаходимо повний розрахунковий об'єм бункера:

$$V_a^1 = \frac{0.41 \cdot 3}{0.9 \cdot 1} = 1.38 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм бункера $V_a = 1.6$ м^3

Бункер Б1: $V_a = 1.6$ м^3, $D = 1400$ мм, $H = 1300$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.5. Збірник Зб1

Визначаємо об'єм кубового залишку, який утворюється на першій стадії за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{1047.64}{1047.1} = 1.00 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.5

$$V_д = V_m \cdot K = 1{,}00 \cdot 0{,}97 = 0.97 \text{ м}^3$$

Розраховуємо робочий об'єм збірника:

$$V_\text{Р} = \frac{V_д}{\alpha} = \frac{0.97}{1.52} = 0.64 \text{ м}^3$$

Маючи робочий об'єм збірника і прийнявши коефіцієнт заповнення апарату φ = 0,9 визначаємо повний розрахунковий об’єм збірника:

$$V_a^1 = \frac{V_P}{\varphi} = \frac{0.64}{0.9} = 0.71 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм збірника $V_a = 0{,}8$ м^3, який відповідає розрахунковому об'єму, і визначаємо реальний коефіцієнт заповнення:

$$\varphi_P = \frac{V_P}{V_a} = \frac{0.8}{0.71} = 1.13$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному збірнику впродовж доби:

$$\beta = \frac{24}{\tau} = \frac{24}{0.75} = 32.00 \text{ оп/добу}$$

Розрахункова кількість збірників:

$$m_p = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1.52}{32.00} = 0.05 \text{ шт}$$

Кількість збірників, які встановлюються, $m = 1$ шт.

Збірник Зб1: $V_a = 0.8$ м^3, $D = 1000$ мм, $H = 1150$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.6. Збірник Зб2

Визначаємо об'єм відгону, який одержується на другій стадії за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{903.66}{839.90} = 1.08 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.3

$$V_д = V_m \cdot K = 1{,}08 \cdot 0{,}97 = 1.05 \text{ м}^3$$

Розраховуємо робочий об'єм збірника:

$$V_\text{Р} = \frac{V_д}{\alpha} = \frac{1.05}{1.52} = 0.69 \text{ м}^3$$

Маючи робочий об'єм збірника і прийнявши коефіцієнт заповнення апарату φ = 0,9 визначаємо повний розрахунковий об’єм збірника:

$$V_a^1 = \frac{V_P}{\varphi} = \frac{0.69}{0.9} = 0.77 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм збірника $V_a = 0{,}8$ м^3, який відповідає розрахунковому об'єму, і визначаємо реальний коефіцієнт заповнення:

$$\varphi_P = \frac{V_P}{V_a} = \frac{0.69}{0.8} = 0.86$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному збірнику впродовж доби:

$$\beta = \frac{24}{\tau} = \frac{24}{2.42} = 9.92 \text{ оп/добу}$$

Розрахункова кількість збірників:

$$m_p = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1.52}{9.92} = 0.15 \text{ шт}$$

Кількість збірників, які встановлюються, $m = 1$ шт.

Збірник Зб2: $V_a = 0{,}8$ м^3, $D = 1000$ мм, $H = 1150$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.7. Збірник Зб3

Визначаємо об'єм кубового залишку, який утворюється на стадії регенерації пропіленоксиду за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{106.98}{925.40} = 0.12 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.7

$$V_д = V_m \cdot K = 0.12 \cdot 0{,}97 = 0.12 \text{ м}^3$$

Розраховуємо робочий об'єм збірника:

$$V_\text{Р} = \frac{V_д}{\alpha} = \frac{0.12}{1.52} = 0.08 \text{ м}^3$$

Маючи робочий об'єм збірника і прийнявши коефіцієнт заповнення апарату φ = 0,9 визначаємо повний розрахунковий об’єм збірника:

$$V_a^1 = \frac{V_P}{\varphi} = \frac{0.08}{0.9} = 0.09 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм збірника $V_a = 0{,}1$ м^3, який відповідає розрахунковому об'єму, і визначаємо реальний коефіцієнт заповнення:

$$\varphi_P = \frac{V_P}{V_a} = \frac{0.08}{0.1} = 0.8$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному збірнику впродовж доби:

$$\beta = \frac{24}{\tau} = \frac{24}{0.67} = 35.82 \text{ оп/добу}$$

Розрахункова кількість збірників:

$$m_p = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1.52}{35.82} = 0.04 \text{ шт}$$

Кількість збірників, які встановлюються, $m = 1$ шт.

Збірник Зб3: $V_a = 0.1$ м^3, $D = 400$ мм, $H = 850$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.8. Збірник Зб4

Визначаємо об'єм регенерованого пропіленоксиду, який утворюється на стадії його регенерації за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{796.68}{831.3} = 0.96 \text{ м}^3$$

дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.8

$$V_д = V_m \cdot K = 0.96 \cdot 0{,}97 = 0.93 \text{ м}^3$$

Розраховуємо робочий об'єм збірника:

$$V_\text{Р} = \frac{V_д}{\alpha} = \frac{0.93}{1.52} = 0.62 \text{ м}^3$$

Маючи робочий об'єм збірника і прийнявши коефіцієнт заповнення апарату φ = 0,9 визначаємо повний розрахунковий об’єм збірника:

$$V_a^1 = \frac{V_P}{\varphi} = \frac{0.62}{0.9} = 0.69 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм збірника $V_a = 0{,}8$ м^3, який відповідає розрахунковому об'єму, і визначаємо реальний коефіцієнт заповнення:

$$\varphi_P = \frac{V_P}{V_a} = \frac{0.62}{0.8} = 0.76$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному збірнику впродовж доби:

$$\beta = \frac{24}{\tau} = \frac{24}{2} = 12.00 \text{ оп/добу}$$

Розрахункова кількість збірників:

$$m_p = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1.52}{12.00} = 0.13 \text{ шт}$$

Кількість збірників, які встановлюються, $m = 1$ шт.

Збірник З64: $V_a = 0{,}8$ м^3, $D = 1000$ мм, $H = 1150$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

5.9. Випарник В1

Визначаємо об'єм відгону, який одержується на другій стадії за добу:

$$V_m = \frac{m}{\rho} = \frac{903.66}{839.90} = 1.08 \text{ м}^3$$

Дані для розрахунків з попередньої формули взято з таблиці 3.4

$$V_д = V_m \cdot K = 1{,}08 \cdot 0{,}97 = 1.05 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо робочий об'єм збірника:

$$V_\text{Р} = \frac{V_д}{\alpha} = \frac{1.05}{1.52} = 0.69 \text{ м}^3$$

Маючи робочий об'єм збірника і прийнявши коефіцієнт заповнення апарату φ = 0,9 визначаємо повний розрахунковий об’єм збірника:

$$V_a^1 = \frac{V_P}{\varphi} = \frac{0.69}{0.9} = 0.77 \text{ м}^3$$

З каталога вибираємо стандартний повний об'єм збірника $V_a = 0{,}8$ м^3, який відповідає розрахунковому об'єму, і визначаємо реальний коефіцієнт заповнення:

$$\varphi_P = \frac{V_P}{V_a} = \frac{0.69}{0.8} = 0.86$$

Число операцій, які можуть бути проведені в одному збірнику впродовж доби:

$$\beta = \frac{24}{\tau} = \frac{24}{2.42} = 9.92 \text{ оп/добу}$$

Розрахункова кількість збірників:

$$m_p = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{1.52}{9.92} = 0.15 \text{ шт}$$

Кількість збірників, які встановлюються, $m = 1$ шт.

Випарник В1: $V_a = 0.8$ м^3, $D = 1000$ мм, $H = 1150$ мм, матеріал 12Х18Н10Т і без покриття.

Специфікацію для обрахованого обладнання наведено у таблиці 3.12

Таблиця 3.12

Специфікація обладнання

№ п/п	Номер за схемою	Назва апарату	К-ть, шт	Об'єм, м^3	Матеріал	Основні розміри	
						D, мм	H, мм
1.	Б1	Бункер	1	1.6	12Х18Н10Т	1400	1300
2.	М1	Мірник	1	1.25	12Х18Н10Т	1000	1800
3.	Р1	Реактор	1	2.0	12Х18Н10Т	1000	2750
4	В1	Випарник	1	0.8	12Х18Н10Т	1000	1150
5.	Сх1	Збірник	1	3.2	12Х18Н10Т	1400	1500
6.	Зб1	Збірник	1	0.8	12Х18Н10Т	1000	1150
7.	Зб2	Збірник	1	0.8	12Х18Н10Т	1000	1150

8.	Зб3	Збірник	1	0.1	12Х18Н10Т	400	850
9.	Зб4	Збірник	1	0.8	12Х18Н10Т	1000	1150
10.	Н	Насос	5	—	Збірка	—	—

РОЗДІЛ 6. НОРМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ

Таблиця 3.1

Реактор Р1		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв
1.	Огляд апарату	0-10
2.	Завантаження адипінової кислоти	0-20
3.	Завантаження пропіленоксиду	0-20
4.	Розігрів реакційної маси від 20 до 160°С при постійному перемішуванні	1-00
5.	Витримка	8-00
6.	Охолодження суміші від 160 до 35°С	1-00
7.	Відгін надлишку пропіленоксиду за 35°С при постійному перемішуванні	2-00
8.	Охолодження	0-20
9.	Вивантаження кубового залишку	0-15
	Всього	13-25

Таблиця 3.1

Мірник М1		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв
1.	Огляд апарату	0-05
2.	Завантаження пропіленоксиду	0-15
3.	Вивантаження пропіленоксиду	0-20

	Всього	0-40

Таблиця 3.1

Бункер Б1		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв
1.	Огляд апарата	0-05
2.	Завантаження адипінової кислоти	0-15
3.	Вивантаження адипінової кислоти	0-20
	Всього	0-50

Таблиця 3.1

Збірник Зб1		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв
1.	Огляд апарату	0-05
2.	Завантаження	0-15
3.	Вивантаження	0-25
	Всього	0-45

Таблиця 3.1

Збірник Зб2		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв

1.	Огляд апарату	0-05
2.	Завантаження	2-00
3.	Вивантаження	0-20
	Всього	2-25

Таблиця 3.1

Збірник Зб3		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв
1.	Огляд апарату	0-05
2.	Завантаження	0-20
3.	Вивантаження	0-15
	Всього	0-40

Таблиця 3.1

Збірник Зб4		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв
1.	Огляд апарату	0-05
2.	Завантаження	1-30
3.	Вивантаження	0-25
	Всього	2-00

Таблиця 3.1

Випарник В1		
№ п/п	Найменування операції	Час, год-хв
1.	Огляд апарату	0-05
2.	Завантаження суміші	0-20
3.	Розігірів суміші з 20 до 35°С	0-40
4.	Відгін пропіленоксиду	1-30
5.	Вивантаження кубового залишку	0-20
	Всього	2-55

РОЗДІЛ 7. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

Розрахунки теплового балансу було проведено для оцінки режиму роботи реактора Р1 на стадії одержання основного продукту.

Реалізація процесу одержання пластифікатора в даному апараті описана температурним графіком і складається з трьох теплових стадій:

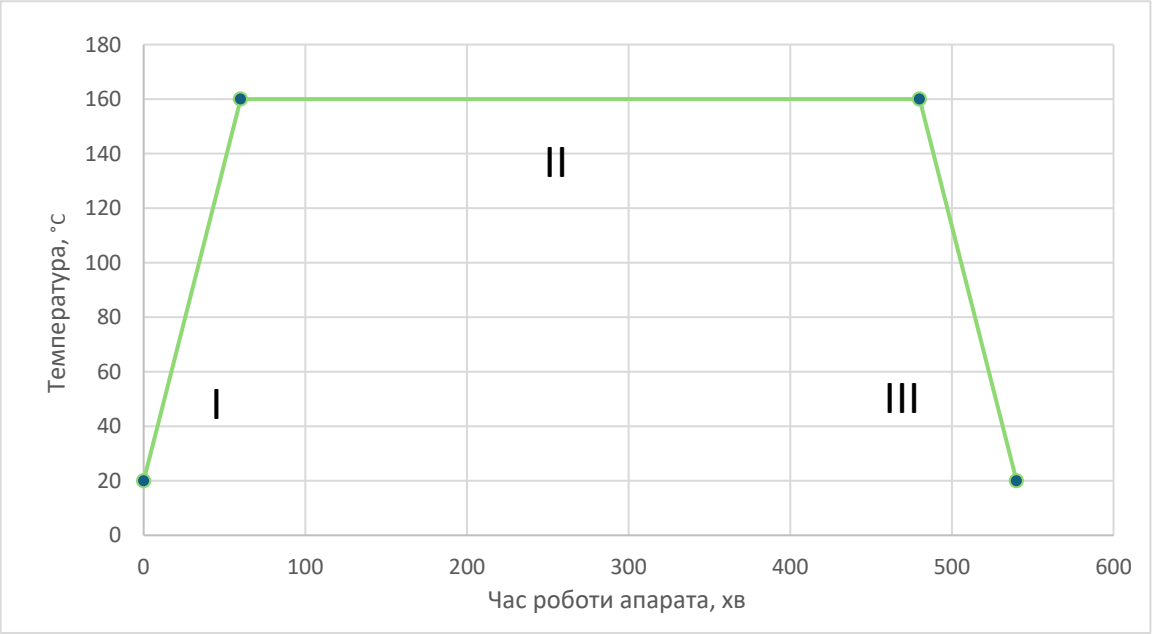


Рис. 1 Тепловий режим роботи реактора Р1

I стадія – розігрів реакційної маси з 20 до 160 °С;

II стадія – витримка реакційної суміші при сталій температурі;

III стадія – охолодження реакційної маси до 20 °С;

Розрахунок I стадії процесу

Рівняння для розрахунку теплового балансу даного процесу виглядає так:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 \ ,$$

де Q_1 – тепло, що вноситься в реактор вихідною сировиною, кДж

Q_2 – тепло, що вноситься в реактор з теплоносієм, кДж

Q_3 – тепловий ефект технологічного процесу, кДж

Q_4 – тепло, що виноситься з реактора продуктами реакції, кДж

Q_5 – тепло, що витрачається на нагрів окремих частин реактора, кДж

Q_6 – тепло, що витрачається реактором у навколишнє середовище, кДж

Величину Q_2 ми визначаєм з цього рівняння:

$$Q_2 = Q_4 + Q_5 + Q_6 - (Q_1 + Q_3)$$

Кількість тепла, що вноситься в аппарат з вихідною сировиною і виноситься з нього продуктами реакції визначається за одним рівнянням:

$$Q_1 = \sum G_i \cdot C_i \cdot t_i$$

G_i – маса і-го компонента на одне операційне завантаження, кг

C_i – питома теплоємність і-го компонента, кДж/(кг·К)

t_i – температура і-го компонента, К

$$G_i = G_T \cdot K'$$

G_i – маса і-го компонента на одну тонну 100% готового продукту до операційного завантаження, кг

K' – перерахунковий коефіцієнт від завантаження на 1 тонну готового продукту до операційного завантаження;

$$K' = \frac{K}{\alpha}$$

де К – перерахунковий коефіцієнт для завантаження на 1 тонну готового пластифікатора до денного завантаження;

α – число операцій, що провели на даній стадії за день;

$$K' = \frac{0{,}97}{1{,}52} = 0{,}64$$

Далі перераховуємо подані в розділі опису вихідних реагентів молярні теплоємності в питомі за такою формулою:

$$C = \frac{C_{P_i}^0}{M_i}$$

$C_{P_i}^0$ – молярна теплоємність певного компонента, Дж/(моль·К)

M_i – молекулярна маса певного компонента, г/моль

$$C_{\text{АК}} = \frac{225}{146} = 1.541 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$C_{\text{ПО}} = \frac{147}{58} = 2.534 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$C_{\text{ДЕ}} = \frac{410}{262} = 1.565 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$C_{\text{МЕ}} = \frac{380}{240} = 1.583 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$C_{\text{ППО}} = \frac{438}{145} = 3.021 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Маси компонентів вихідної сировини будо взято з таблиці 3.1. Нижче наведено обчислення кількості тепла, що вноситься в реактор з сировиною:

$$Q_1 = (1{,}541 \cdot 576{,}70 + 2{,}534 \cdot 1374{,}60) \cdot 0{,}64 \cdot 293 = 819824.52 \text{ (кДж)}$$

Розрахунок кількості тепла, що виноситься з реактора продуктами реакції розрахуємо за такою формулою:

$$Q_4 = \frac{Q_1 \cdot 433}{293} = \frac{819824.52 \cdot 433}{293} = 1211549.55 \text{ кДж}$$

Тепер потрібно розрахувати тепловий ефект хімічної реакції, який є сумарною кількістю тепла, яка виділяється або поглинається при перебігу хімічних реакцій і фізико-хімічних процесів, що їх супроводжують (розчинення, топлення, випаровування, гідратація тощо).

$$Q_3 = G_P \cdot \frac{1000}{M} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \Delta H_P$$

де G_P – маса 100%-ної реагуючої сполуки на одне завантаження, кг;

η_1 – коефіцієнт виходу хімічної реакції, соті долі відсотка;

η_2 – коефіцієнт виходу хімічної реакції на тепловій підстадії, соті долі відсотка, який рівний 0.2;

$\Delta H_р$- молярний тепловий ефект хімічної реакції, кДж/моль.

Відповідно до закону Гесса для розрахунку молярного теплового ефекту хімічної реакції необхідно від суми теплот утворення продуктів реакції відняти суму теплот утворення вихідних речовин:

$$\Delta H_р = \Sigma \Delta H_к - \Sigma \Delta H_п$$

де $\Delta H_п$ і $\Delta H_к$ - сума теплот утворення сполук, що вступають в реакцію іутворюються в результаті реакції відповідно, кДж/моль.

Таблиця 7.1

Значення теплот утворення речовин

№ п/п	Назва речовини	Теплота утворення, кДж/моль
1.	Адипінова кислота	-994
2.	Пропіленоксид	-132.50
3.	Поліпропіленоксид	-85
4.	МЕ	-1093.70
5.	ДЕ	-1183.40

Розрахуємо тепловий ефект основної реакції:

$$\Delta H_{Р(1)} = -1183.40 - (-2 \cdot 132.5 - 994) = 75.6 \text{ кДж/моль}$$

Розрахуємо тепловий ефект побічних реакцій:

$$\Delta H_{Р(2)} = -1093 - (-132.5 - 994) = 33.5 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_{Р(3)} = n \cdot (-85) = 5 \cdot (-85) = -425 \text{ кДж/моль}$$

Отже тепловий ефект процесу дорівнює:

$$Q_{3(1)} = 574.97 \cdot \frac{1000}{146} \cdot 0.98 \cdot 0.2 \cdot 0.64 \cdot (-75.6) = -37346.52 \text{ кДж}$$

$$Q_{3(2)} = 574.97 \cdot \frac{1000}{146} \cdot 0.02 \cdot 0.2 \cdot 0.64 \cdot (-33.5) = -337.74 \text{ кДж}$$

$$Q_{3(3)} = 1367.73 \cdot \frac{1000}{145} \cdot 0.05 \cdot 0.2 \cdot 0.64 \cdot 425 = 25656.73 \text{кДж}$$

$$Q_3 = Q_{3(1)} + Q_{3(2)} + Q_{3(3)} = 25656.73 - 37684.26 = -12027.53 \text{ кДж}$$

Витрата тепла на нагрів окремих частин апарату визначається за формулою:

$$Q_5 = \Sigma G \cdot C \cdot (t_{W\text{кін}} - t_{W\text{поч}})$$

де G - маса окремих частин апарату, кг;

C - теплоємність окремих частин апарату, кДж/(кг·К);

$t_{W\text{поч}}$ - середня початкова температура окремих частин апарату, К, $t_{\text{Wпоч}} = 293$ К;

$t_{W\text{кін}}$ - середня кінцева температура окремих частин апарату, К.

Середня кінцева температура дорівнює середньому арифметичному між температурами стінок з боку теплоносія і реакційної маси:

$$t_{W\text{кін}} = \frac{t''_{W\text{кін}} + t'_{W\text{кін}}}{2}$$

де $t'_{W\text{кін}}$ - температура стінки апарату з боку теплоносія, К;

$t''_{W\text{кін}}$ - температура стінки апарату з боку реакційної маси, К;

$$t'_{W\text{кін}} = t_1 - \frac{K \cdot (t_1 - t_2)}{\alpha_1}$$

$$t''_{W\text{кін}} = t_2 + \frac{K \cdot (t_1 - t_2)}{\alpha_2}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де t_1 - температура теплоносія, °С;

t_2 - температура реакційної маси, °С;

α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від стінки апарату до холодоагенту, Вт/(м^2·К);

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від реакційної маси до стінки апарату, Вт/(м^2·К);

К - коефіцієнт теплопередачі від реакційної маси до теплоносія, Вт/(м^2·К);

δ - товщина стінки апарату (одного шару стінки), м;

λ - теплопровідність стінки (одного шару стінки), Вт/(м2·К).

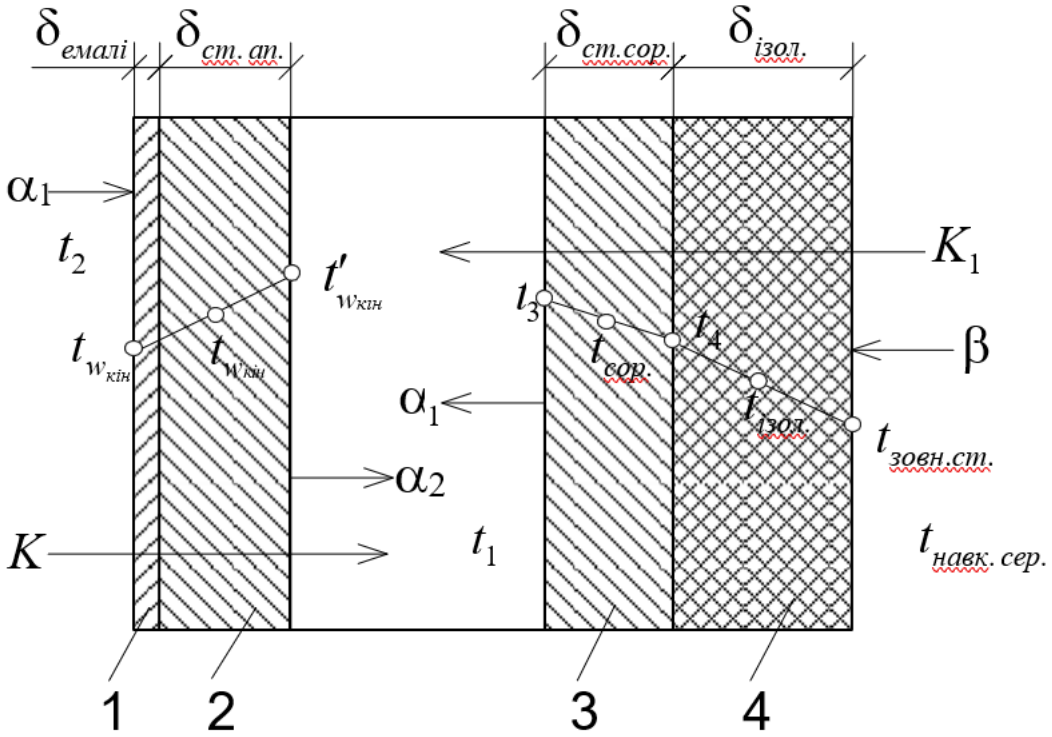


Рис. 9.1 До розрахунку Q_5 і Q_6: 1 – емалеве покриття (у нашому випадку воно відсутнє); 2 – стінка апарата; 3 – стінка сорочки; 4 – теплоізоляції.

Для розрахунку витрати тепла на окремі частини апарату необхідно виписати необхідні для цього дані:

1. маса царги $m_{царги}$ = 663.3 кг;

2. маса кришки $m_{кришки}$ = 117 кг;
3. маса днища $m_{днища}$ = 117 кг;
4. маса мішалки $m_{мішалки}$ = 74.28 кг;
5. маса сорочки $m_{сорочки}$ = 440 кг;
6. маса ізоляції $m_{ізоляції}$ = 14.13 кг.
7. товщина стінок апарату і сорочки: $\delta_{ст.ап}$ = 12 мм; $\delta_{ст.\ сор}$ = 8 мм.
8. товщина ізоляції з мінеральної вати: $\delta_{ізол}$ = 12 мм.

Температура теплоагента (водяної пари) становить 180 °С = 453 (К), температура реакційної маси становить 160 °С = 433 (К).

Теплоємність матеріалів становить: $C_{сталі}$ = 0.5 кДж/(кг·К); $C_{Вати}$ = 0.92 кДж/(кг·К).

Теплопровідність матеріалів становить: $\lambda_{сталі}$ = 45 Вт/(м·К); $\lambda_{Вати}$ = 0.035 Вт/(м·К).

Коефіцієнт тепловіддачі при нагріванні і охолодженні водяної пари: α_1 = 6000 Вт/(м²·К)

Коефіцієнт тепловіддачі при нагріванні і охолодженні органічних речовин: α_2 = 4000 Вт/(м²·К)

Розрахуємо коефіцієнт теплопередачі від реакційної маси до теплоносія:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст.сор}}{\lambda_{сталі}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{6000} + \frac{0.008}{45} + \frac{1}{4000}} = \frac{1}{\frac{1}{6000} + \frac{0.008}{45} + \frac{1}{4000}} = 1463.41\ Вт/(м^2 \cdot К)$$

Температура стінки з боку теплоносія:

$$t'_{W кін} = t_1 - \frac{K \cdot (t_1 - t_2)}{\alpha_1} = 453 - \frac{1463.41 \cdot 20}{6000} = 448\ К$$

Температура стінки з боку реакційної маси:

$$t''_{W\text{кін}} = t_2 + \frac{K \cdot (t_1 - t_2)}{\alpha_2} = 433 - \frac{1463.41 \cdot 20}{4000} = 437 \text{ К}$$

Середня кінцева температура стінки апарату:

$$t_{W\text{кін}} = \frac{t'_{W\text{кін}} + t''_{W\text{кін}}}{2} = \frac{448.12 + 436.9}{2} = 443 \text{ К}$$

Для розрахунку кількості тепла, що віддає накривка апарата, визначимо коефіцієнт теплопередачі від верхньої частини апарату до повітря:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст.сор}}}{\lambda_{\text{сталі}}} + \frac{1}{\beta}}$$

Приймаємо, що середня кінцева температура накривки апарату становить 25 °С, що дорівнює 298 (К).

де K_1 - коефіцієнт теплопередачі від навколишнього середовища до теплоносія через теплоізоляцію і стінку сорочки, Вт/(м^2·К).

$\delta_{\text{ст. сор}}$ - товщина стінки сорочки, м;

$\delta_{\text{ізол}}$ - товщина теплоізоляції, м;

$\lambda_{\text{сталі}}$ - теплопровідність стінки сорочки, Вт/(м^2·К);

$\lambda_{\text{ізол}}$ - теплопровідність ізоляції, Вт/(м^2·К);

β - коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища до стінки апарату, Вт/(м^2·К);

Величина β визначається за формулою:

$$\beta = 0.97 + 0.07 \cdot \left(t_{\text{зовн.ст}} - t_{\text{навк.сер}}\right) = 0.97 + 0.07 \cdot (433 - 293) = \\ = 10.77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

де $t_{\text{зовн.ст}}$ - температура зовнішньої поверхні стінки апарату, К;

$t_{\text{навк.сер}}$ - температура навколишнього середовища (приміщення цеху), К;

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст.сор}}}{\lambda_{\text{сталі}}} + \frac{1}{\beta}} = \frac{1}{\frac{1}{6000} + \frac{0.008}{45} + \frac{1}{10.77}} = 10.72 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Для ізольованої оболонки реактора справджується така рівність:

$$t_3 \approx t_4 \approx t_{\text{ст.сор}} \approx t_1$$

температура шару ізоляції зі сторони навколишнього середовища дорівнює температурі зовнішньої стінки ізольованої поверхні апарату $t_{\text{зовн.ст}} = 40$ °С = 313 (К);

Оскільки співвідношення $t_{\text{зовн.ст}}/t_4 < 2$, то середню температуру шару ізоляції обчислюємо за такою формулою:

$$t_{\text{ізол}} = \frac{t_4 + t_{\text{зовн.ст.}}}{2} = \frac{453 + 313}{2} = 383 \text{ К}$$

Розраховуємо Q_5:

$$Q_5 = ((663.3 + 117) \cdot 0.5 \cdot (433 - 293)) + (117 \cdot 0.5 \cdot (298 - 293)) + (74.28 \cdot 0.5 \cdot$$
$$\cdot (433 - 293)) + (440 \cdot 0.5 \cdot (453 - 293)) + (14.13 \cdot 0.92 \cdot$$
$$\cdot (383 - 293)) = 96483.06 \text{ кДж}$$

Тепло, що витрачається в навколишнє середовище:

$$Q_6 = \sum_1^n \left(F \cdot \beta \cdot (t_1 - t_2)\right) \cdot \tau$$

де F - поверхня частини апарату, що втрачає тепло, м^2; τ - тривалість процесу, год;

Площа поверхні ізольованої частини апарату:

$$F_1 = \pi \cdot D \cdot h + 1{,}4 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 3.14 \cdot 1.024 \cdot 1.950 + 1{,}4 \cdot \frac{3.14 \cdot 1.024^2}{4} = 7.42 \text{ м}^2$$

Площа поверхні неізольованої частини апарату:

$$F_2 = \pi \cdot D \cdot h + 1{,}4 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 3.14 \cdot 1.024 \cdot 0.25 + 1{,}4 \cdot \frac{3.14 \cdot 1.024^2}{4} = 4.14 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі від неізольованої стінки апарату в навколишнє середовище:

$$\beta = 9{,}74 + 0{,}007 \cdot \left(t_{\text{зовн.ст}} - t_{\text{навк.сер}}\right) = 9{,}74 + 0{,}007 \cdot (298 - 293) = \\ = 9.76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища до ізольованої стінки апарату:

$$\beta = 9{,}74 + 0{,}007 \cdot \left(t_{\text{ізол}} - t_{\text{навк.сер}}\right) = 9{,}74 + 0{,}007 \cdot (383 - 293) = \\ = 10.37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Визначаємо Q_6:

$$Q_6 = \left(7.42 \cdot 10.37 \cdot (298 - 293) + 4.14 \cdot 9.76 \cdot (383 - 293)\right) \cdot 3600 = \\ = 14476.70 \text{ кДж}$$

Визначаємо тепло, що необхідно підвести за допомогою теплоносія:

$$Q_2 = 1322509.40 - 819824.54 - (-12027.53) = 514712.40 \text{ кДж}$$

А далі, користуючись значенням теплоти Q_2, яку потрібно підвести до апарату, визначеного з рівняння теплового балансу, знаходимо витрату водяної пари, електроенергії.

Витрата водяної пари на обігрів:

$$G = \frac{Q_2}{\lambda_s - c \cdot t_K}$$

де λ_S – тепломісткість гріючої пари, кДж/кг; с – теплоємність конденсату, кДж/(кг·К); $t_к$ – температура конденсації, К.

При проведенні даних розрахунків значення цих величин будуть такими:

$\lambda_s = 2785$ кДж/кг, $c = 4.18$ кДж/(кг · К), $t_k = 180$ °С $= 453$ К.

І опираючись на дану інформацію розраховуємо витрату нашого теплоносія:

$$G = \frac{514712.40}{2785 - (4.18 \cdot 453)} = 577.40 \text{ кг}$$

Витрата електроенергії обрахується за формулою:

$$W = \frac{Q_2}{820 \cdot \eta \cdot 4{,}19} = \frac{514712.40}{820 \cdot 0.95 \cdot 4{,}19} = 157.70 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де η – електротехнічний к.к.д. нагрівальних елементів, величина якого рівна 0.95.

Розрахункову поверхню теплообміну апарата визначають з основного рівняння теплопередачі:

$$F_P = \frac{Q_2}{K \cdot \Delta t_{сер} \cdot \tau}$$

де F_p - розрахункова поверхня теплообміну, м^2;

K - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К);

$\Delta t_{сер}$ - середня різниця температур між теплоносієм і матеріалом, який нагрівають; τ - тривалість нагрівання, с.

Температурна схема для знаходження середньої різниуі температур між теплоносієм та матеріалом, який нагрівають виглядатиме так:

реакційна маса

20 (293 К) ⟶ 160 (433 К)

теплоносій (водяна пара)

180 (453 К) ⟵ 180 (453 К)

Розрахунок її значення відповідно виглядатиме так:

$$t_б = 453 - 293 = 160 \text{ К}$$

$$t_{\text{м}} = 453 - 433 = 20\,\text{К}$$

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2{,}3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}$$

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{160 - 20}{2.3 \cdot \lg \frac{160}{20}} = \frac{140}{2.3 \cdot \lg 8} = 67.40$$

А поверхня теплообміну становитиме:

$$F_P = \frac{514712.40 \cdot 1000}{1463.41 \cdot 3600 \cdot 67.40} = 1.5\ \text{м}^2$$

Оскільки розрахункова поверхня теплообміну є меншою за стандартну (за каталогом для реактора об'ємом 2 м^3 поверхня теплообміну становить $F = 9.2$ м^2), то можна відповідно зробити висновок, що теплообмін у реакторі буде забезпечений повністю.

РОЗДІЛ 8. КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНОГО РЕАКТОРА З ПЕРЕМІШУЮЧИМ ЗАСОБОМ

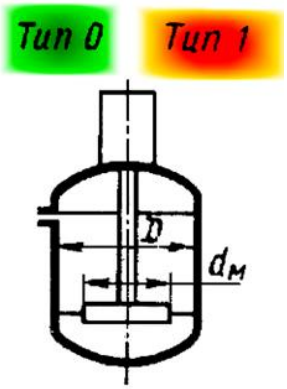
8.1. Геометрія обичайки

При технологічному розрахунку було обґрунтовано об’єм реактора (Р1), що становить 2 м^3. Серед стандартних реакторів пропонується обрати апарат з внутрішнім діаметром 1го ряду 1000 мм, 1200 мм 2го ряду та 1400 мм 3го. Зважаючи на те, що реактор працюватиме за надлишкового тиску в 6 бар, пропонується серед наведених прикладів вибрати реактор з внутрішнім діаметром в 1000 мм, орієнтовною висотою обичайки 2200 мм, умовною висотою апарата 2750 мм, орієнтовна площа поверхні теплопередачі 9,23 м^3.

Зважаючи на вище наведені причини, а також за відсутності осаду пропонується використовувати еліптичні днища і кришки.

Для виконання нашого технологічного завдання пропонується використовувати приєднання кришки до обичайки з фланцем.

Тип кришки і днища, разом з обичайкою визначає тип реактора – тип 1.



8.2. Тип кожуха

Щоб забезпечити стале в часі проведення даного технологічного процесу необхідно підтримувти температуру реакційної суміші $T_{робоча}$ = 160 ^oC і для досягнення цього параметру обігріву в ролі теплоносія використовуватиметься водяна пара.

Розрахункову ж температуру ми визначили опираючись на температуру середовища, в якому проводитиметься процес та на використані методи обігріву та

охолодження. Таким чином розрахункова температура пари, що подається на нагрівання реактора становитиме $T_{розрахункова}$ = 180 °С.

Для забезпечення обігріву аппарат рекомендується обладнати звичайною циліндричною сорочкою, яка незважаючи на свою технологічну простоту, здатна бездоганно працювати при тиску, який створює на його стінки розігріта водяна пара, незабуваючи вже про її дешевизну — позитивний сторона конструкційної простоти цього агрегату.

8.3. Механіко-технологічний розрахунок елементів реактора. Робочий та розрахунковий тиски

Згідно з технологічним завданням реакція, яка проходить у реакторі (Р1) — проходить при робочому тиску p > 0.07 МПа.

Речовини реакційної суміші відносяться до Іго класу за своєю токсичністю, а тому розрахунковий тск буде обґрунтовано за наступною формулою:

$$p_r = 1.2 \cdot p$$

І відповідно дорівнює:

$$p_r = 1.2 \cdot 6.12 = 7.34 \text{ (МПа)}$$

8.4. Вибір матеріалу для виготовлення апарату

Для виконання даного технологічного завдання при виробництві реактора (Р1) за основний матеріал рекомендується обрати леговану сталь 12Х18Н10Т, з якої і буде виготовлено даний аппарат.

8.5. Конструкційна добавка і добавка на корозію. Вибір допустимої напруги [σ] для розрахунку товщини стінки обичайки і днища. Клас апарата

Нормативне допустиме напруження для використаного в виготовлені даного апарату матеріалу, яким є легована нержавіюча сталь 12Х18Н10Т рівне σ* = 164 МПа.

Зважаючи на температурний режим роботи реактора, а також високі тиски і оксичність робочого середовища йому присвоюється І-й клас небезпеки.

Поправочний коефіцієнт, вибраний для розрахунку допустимої напруги η дорівнює 0.9.

Звідси ми можемо визначити [σ] по такій фомулі:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta = 164 \cdot 0{,}9 = 147.60 \text{ МПа}$$

8.6. Вибір коефіцієнт міцності зварного шва

При розрахунку зварних апаратів ми повинні ввести коефіцієнт міцності зварного шва $\varphi_P = 1$, який враховує ослаблення конструкції в результаті автоматичного зварювання при виготовлені даного агрегату в спеціально обладнаних цехах.

8.7. Оцінка товщини стінки обичайки

Для обичайок, що навантажені лише надлишковим внутрішнім тиском, розрахункова товщина стінки визначається за наступною формулою:

$$s_R = \frac{p_R \cdot D_в}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p_R}$$

де p_R – розрахунковий тиск, Мпа;

$D_в$ – внутрішній діаметр апарату, м;

[σ] – допустиме напруження, Мпа;

φ_P – коефіцієнт міцності зварного шва.

$$s_R = \frac{0.72 \cdot 1}{2 \cdot 147{,}60 \cdot 1 - 0{,}22} = 0{,}0024 \text{ м} = 2{,}4 \text{ мм}$$

Згідно з довідковою літературою значення мінімальної товщин стінки для апарату з внутрішнім діаметром 1000 мм – $S_{min} = 4$ мм = 0.004 м. Оскільки $S_R < S_{min}$, то товщина стінки обичайки обраховується за наступною формулою:

$$S \geq S_R + c_1$$

де c_1 – добавка для компенсації корозії та ерозії ($c_1 = 2$ мм)

$$S \geq 4 + 2 = 6 \text{ (мм)}$$

Тепер необхідно розрахувати допустимий внутрішній тиск для даного апарату. Обрахунок проводиться за цією формулою:

$$[\text{p}] = \frac{p_R \cdot 2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_P \cdot (\text{S} - \text{c})}{D + (s - c)} = \frac{0.72 \cdot 2 \cdot 147.60 \cdot 1 \cdot (0.006 - 0.002)}{1 + (0.006 - 0.002)} = 1.18 \text{ МПа}$$

Оцінка допустимого значення зовнішнього тиску з умов стійкості в межах пружності проводиться за ткаою формулою:

$$[\text{p}]_{\text{E}} = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot \text{E}}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{L} \cdot \left[\frac{100 * (S - c)}{D}\right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (S - c)}{D}}$$

$$[\text{p}]_{\text{E}} = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10^5}{2.4 \cdot 1} \cdot \frac{1}{0.92} \cdot \left[\frac{100 \cdot 0.004}{1}\right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot 0.004}{1}} = 0.18 \text{ МПа}$$

Оцінка допустимого значення зовнішнього тиску з умов міцності в межах пружності проводиться за ткаою формулою:

$$[p]_П = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D_{\text{в}} + (S - c)}$$

Зважаючи на те, що вище згадана формула нічим майже не відрізняється від формули для розрахунку допустимого внутрішнього тиску, ми можемо просто їх прирівняти одну до одної:

$$[p]_П = [\text{p}] = 1.18 \text{ МПа}$$

По даним, що ми розрахували з двох попередніх формул ми оцінюємо допустимий зовнішній тиск за рівнянням:

$$[p] = \frac{[p]_П}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_П}{[p]_E}\right)^2}} = \frac{1.18}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.18}{0.18}\right)^2}} = 0.18 \text{ МПа}$$

Зважаючи на те, що при допустимому зовнішньому тиску 0.18 МПа і зовнішньому тиску 1.03 МПа, вибрана товщина стінки не здатна забезпечити необхідну жорсткість реактора, а тому ми повинні збільшити виконавчу товщину стінки до наступного стандартного значення S = 8 мм і наново провести розрахунки з моменту визначення допустимого внутрішнього тиску в обичайці апарату. Схему розрахунків було обґрунтовано вище, а далі буде наведено лише розрахунки.

$$[\text{p}] = \frac{2 \cdot 147.60 \cdot 1 \cdot (0.008 - 0.002)}{1 + (0.008 - 0.002)} = 1.76 \text{ МПа}$$

$$[\text{p}]_{\text{E}} = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10\text{^}5}{2.4 \cdot 1} \cdot \frac{1}{0.92} \cdot \left[\frac{100 \cdot (0.006)}{1}\right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (0.006)}{1}} = 0.50 \text{ МПа}$$

$$[p]_П = [\text{p}] = 1.76 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{1.76}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.76}{0.50}\right)^2}} = 0.48 \text{ МПа}$$

Зважаючи на те, що при допустимому зовнішньому тиску 0.48 МПа і зовнішньому тиску 1.03 МПа, вибрана товщина стінки не здатна забезпечити необхідну жорсткість реактора, а тому ми повинні збільшити виконавчу товщину стінки до наступного стандартного значення S = 10 мм і наново провести розрахунки з моменту визначення допустимого внутрішнього тиску в обичайці апарату. Схему розрахунків було обґрунтовано вище, а далі буде наведено лише розрахунки.

$$[\text{p}] = \frac{2 \cdot 147.60 \cdot 1 \cdot (0.01 - 0.002)}{1 + (0.01 - 0.002)} = 2.34 \text{ МПа}$$

$$[\text{p}]_{\text{E}} = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10\text{^}5}{2.4 \cdot 1} \cdot \frac{1}{0.92} \cdot \left[\frac{100 \cdot (0.008)}{1}\right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (0.008)}{1}} = 1.03 \text{ МПа}$$

$$[p]_П = [\text{p}] = 2.34 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{2.34}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.34}{1.03}\right)^2}} = 0.93 \text{ МПа}$$

Зважаючи на те, що при допустимому зовнішньому тиску 0.93 МПа і зовнішньому тиску 1.03 МПа, вибрана товщина стінки не здатна забезпечити необхідну жорсткість реактора, а тому ми повинні збільшити виконавчу товщину стінки до наступного стандартного значення S = 12 мм і наново провести розрахунки з моменту визначення допустимого внутрішнього тиску в обичайці апарату. Схему розрахунків було обґрунтовано вище, а далі буде наведено лише розрахунки.

$$[\text{p}] = \frac{2 \cdot 147.60 \cdot 1 \cdot (0.012 - 0.002)}{1 + (0.012 - 0.002)} = 2.92 \text{ МПа}$$

$$[\text{p}]_{\text{E}} = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10\text{^}5}{2.4 \cdot 1} \cdot \frac{1}{0.92} \cdot \left[\frac{100 \cdot (0.01)}{1}\right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (0.01)}{1}} = 1.80 \text{ МПа}$$

$$[p]_П = [\text{p}] = 2.92 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{2.92}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.92}{1.80}\right)^2}} = 1.53 \text{ МПа}$$

Отже зважаючи на те, що при зовнішньому тиску 1.03 МПа, який створює водяна пара на стінку реактора, та при зовнішньому допустимому тиску 1.53 МПа, вибрана товщина стінки здатна забезпечити необхідну жорсткість реактора.

8.8. Оцінка товщини стінки днища й кришки. Розрахунок товщини стінки еліптичного днища і кришки, допустимого внутрішнього та зовнішнього тиску

Розрахунок товщини стінки еліптичного днища, навантаженого внутрішнім надлишковим тиском проводимо за формулою:

$$S_R = \frac{p_R \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0.5 \cdot p_R}$$

де R і D розраховуються відповідно за такими рівняннями:

$$H = 0.25 \cdot D = 0.25 \cdot 1 = 0.25 \text{ м}$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{1}{4 \cdot 0.25} = 1 \text{ м}$$

Відповідно S_R дорівнює:

$$S_R = \frac{p_R \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0.5 \cdot p_R} = \frac{0.72 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 147.60 - 0.72} = 0.0024 \text{ м}$$

Мінімально допустиме значення товщини стінок для внутрішнього діаметра 1000 мм - S_{min} = 4 мм і тоді, якщо $S_R < S_{min}$, то товщина стінки обичайки обраховується за наступною формулою :

$$S \geq S_{min} + c_1$$

де c_1 – добавка для компенсації корозії та ерозії (c_1 = 2 мм)

$$S \geq 4 + 2 = 6 \text{ мм}$$

Значення допустимого внутрішнього надлишкового тиску [p] слід оцінювати за рівнянням:

$$[p] = \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0.5 \cdot (S - c)} = \frac{2 \cdot (0.006 - 0.002) \cdot 1 \cdot 147.6}{1 + 0.5 \cdot (0.006 - 0.002)} = 1.18 \text{ МПа}$$

Допустимий зовнішній тиск з умови міцності ми визначаємо за таким рівнянням:

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{K_e \cdot R}\right]^2$$

де K_e розраховується за допомогою такої формули:

$$K_e = \frac{1 + (2{,}4 + 8 \cdot x)x}{1 + (3 + 10 \cdot x)x}$$

де x знаходимо за таким рівнянням:

$$x = 10 \cdot \frac{s - c}{D} \cdot \left(\frac{D}{2H} - \frac{2H}{D}\right)$$

Прийнявши до уваги три вище описані рівняння розпишемо розрахунок Допустимий зовнішній тиск з умови міцності:

$$x = 10 \cdot \frac{0.006 - 0.002}{1} \cdot \left(\frac{1}{0.5} - \frac{0.5}{1}\right) = 0.06$$

$$К_e = \frac{1 + (2{,}4 + 8 \cdot 0.06) \cdot 0.06}{1 + (3 + 10 \cdot 0.06) \cdot 0.06} = 0.96$$

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10^5}{2.4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (0.006 - 0.002)}{0.96 \cdot 1}\right]^2 = 0.41 \text{ МПа}$$

А тепер оцінемо допустимий зовнішній тиск за формулою:

$$[p] = \frac{1.18}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.18}{0.41}\right)^2}} = 0.33 \text{ МПа}$$

Отже зовнішній тиск, який створює пара на стінки реактора становить 1.25 МПа, а допустиме його значення рівне 0.33 МПа, а отже товщина стінки днища не задовільняє необхідну жорсткіть корпуса реактора і тому потрібно прийняти наступне стандартне значення S = 8 мм і наново провести розрахунок з моменту визначення значення допустимого внутрішнього тиску.

$$[p] = \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0.5 \cdot (S - c)} = \frac{2 \cdot 0.006 \cdot 1 \cdot 147.6}{1 + 0.5 \cdot 0.006} = 1.18 \text{ МПа}$$

$$x = 10 \cdot \frac{0.006}{1} \cdot \left(\frac{1}{0.5} - \frac{0.5}{1}\right) = 0.09$$

$$К_e = \frac{1 + (2{,}4 + 8 \cdot 0.09) \cdot 0.09}{1 + (3 + 10 \cdot 0.09) \cdot 0.09} = 0.95$$

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10^5}{2.4} \cdot \left[\frac{100 \cdot 0.006}{0.95 \cdot 1}\right]^2 = 0.95 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{1.18}{\sqrt{1 + \left(\frac{1.18}{0.41}\right)^2}} = 0.84 \text{ МПа}$$

Оскільки зовнішній тиск, який створює пара на стінки реактора становить 1.25 МПа, а допустиме його значення рівне 0.33 МПа, а отже товщина стінки днища не задовільняє необхідну жорсткіть корпуса реактора і тому потрібно прийняти наступне стандартне значення S = 10 мм і наново провести розрахунок з моменту визначення значення допустимого внутрішнього тиску.

$$[\text{p}] = \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0.5 \cdot (\text{S} - \text{c})} = \frac{2 \cdot 0.008 \cdot 1 \cdot 147.6}{1 + 0.5 \cdot 0.008} = 2.35 \text{ МПа}$$

$$x = 10 \cdot \frac{0.008}{1} \cdot \left(\frac{1}{0.5} - \frac{0.5}{1}\right) = 0.12$$

$$\text{К}_\text{e} = \frac{1 + (2{,}4 + 8 \cdot 0.12) \cdot 0.12}{1 + (3 + 10 \cdot 0.12) \cdot 0.12} = 0.93$$

$$[\text{p}]_{\text{E}} = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10^5}{2.4} \cdot \left[\frac{100 \cdot 0.008}{0.93 \cdot 1}\right]^2 = 1.75 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{2.35}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.35}{1.75}\right)^2}} = 1.43 \text{ МПа}$$

Зважаючи на одержане значення допустимого зовнішнього тиску, а також реального зовнішнього тиску, що його створює пара на стінку реактора, можна стверджувати, що при товщині стінки днища/кришки рівній 10 мм, забезпечується необхідна жорсткість реактора. Але оскільки зазвичай товщина стінки реактора, кришки та днища вибирається однаковою, то приймемо її рівною 12 мм. Але на всяк проведемо оцінку на допустимі тиски при цій товщині.

$$[\text{p}] = \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0.5 \cdot (\text{S} - \text{c})} = \frac{2 \cdot 0.01 \cdot 1 \cdot 147.6}{1 + 0.5 \cdot 0.01} = 2.94 \text{ МПа}$$

$$x = 10 \cdot \frac{0.01}{1} \cdot \left(\frac{1}{0.5} - \frac{0.5}{1}\right) = 0.15$$

$$К_е = \frac{1 + (2{,}4 + 8 \cdot 0.15) \cdot 0.15}{1 + (3 + 10 \cdot 0.15) \cdot 0.15} = 0.92$$

$$[\text{p}]_{\text{E}} = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2.2 \cdot 10^{5}}{2.4} \cdot \left[\frac{100 \cdot 0.01}{0.92 \cdot 1}\right]^2 = 2.82 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{2.94}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.94}{2.82}\right)^2}} = 2.03 \text{ МПа}$$

Отже при цій товщині також забезпечується необхідна жорсткість апарату.

8.9. Вибір типу перемішуючого засобу. Геометричні розміри перемішуючого засобу

Рекомендується встановити дворівневу чотирьохлопатеву мішулку з кутом нахилу лопастей α = 45º. Геометричні характеристики мішалки вибрано згідно з довідником А. Г. Касаткіна [27]:

$$d_m^* = \frac{D_в}{3} = \frac{1}{3} = 0.33 \text{ м}$$

За виконаче значення діаметру перемішуючого пристрою візьмемо рекомендоване значення, що рівне 0.5 м.

$$H = d_m \cdot 3 = 0.5 \cdot 3 = 1.5 \text{ м}$$

$$b = 0.1 \cdot 0.5 = 0.05 \text{ м}$$

$$h_m = 0.3 \cdot 0.5 = 0.15 \text{ м}$$

8.10. Потужність перемішуючого засобу

Розрахунок потужності перемішуючого засобу починаєм з розрахунку критерія Рейнольдса:

$$Re_M = \frac{\rho_с \cdot n^3 \cdot d_m^5}{\mu_с} = \frac{831.3 \cdot 27 \cdot 0.031}{0.0035} = 200403$$

де $\mu_с$ – динамічна в’язкість суміші, Н·с/м^2.

n – кількість обертів, об/с.

ρ_c – густина суміші, кг/м^3.

Далі визначаємо критерій потужності за формулою:

$$K_M = \frac{A}{Re_M^m} = \frac{5.05}{200403^{0.2}} = 0.44$$

де A і m – константи, що беруться з довідника А. Г. Касаткіна. [27]

Потужність для двохрівневого перемішуючого пристрою розраховуємо за формулою:

$$N_m = K_M \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5 \cdot 2 = 0.44 \cdot 831.3 \cdot 27 \cdot 0.031 \cdot 2 = 616.47 \text{ Вт}$$

Зважаючи на те, що в кришці реактора вмонтована гільза для термодатчика, а також беручи до уваги коефіцієнт корисної дії приводу та запас потужності на для компенсації перевантажень при запуску перемішування остаточне оціночне значення потужності двигуна, що повинен приводити в рух двохрівневу мішалку буде розраховуватись за таким рівнянням:

$$N_{e.d.} = 1{,}3 \cdot \frac{1}{0{,}95} = 856.57 \text{ Вт}$$

Отже, опираючись на дані розрахунки можна стверджувати, що найкращим чином для забезпечення належного перемішування себе може зарекомендувати мішалка потужністю в 1 кВт.

8.11. Розрахунок валу

Наближене значення діаметру валу знаходимо по формулі:

$$d_в = \sqrt{\frac{N_{e.d.}}{w \cdot \tau_д}} = \sqrt{\frac{856.57}{18.84 \cdot 4.4 \cdot 10^6}} = 0.0173 \text{ м}$$

де $\tau_д$ – допустиме напруження на кручення для матеріалу валу становить $44 \cdot 10^6$ н/м^2. Приймемо стандартну виконавчу товщину валу 0.85 м і продовжимо розрахунок далі.

Маса одиниці валу становить:

$$m = \frac{\rho \cdot \pi \cdot d_{в}^{2}}{4} = \frac{7850 \cdot 3.14 \cdot 0.085^{2}}{4} = 44.52 \text{ кг/м}$$

Маса валу:

$$M_{в} = m \cdot L = 44.52 \cdot 3.589 = 159.79 \text{ кг}$$

Момент інерції валу:

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot d_{в}^{4} = \frac{3.14}{64} \cdot 0.075 = 2.56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{4}$$

Далі необхідно розрахувати приведену масу валу за такою формулою:

$$M_{пр} = M_{M_1} + p \cdot M_{M_2} + q \cdot m \cdot L$$

з якої Коефіцієнт приведення розподіленої маси валу до маси перемішуючого засобу розраховуємо по формулі:

$$q = \frac{12}{(4{,}6 - 3a_1)^4 a_1^2 (a_1 + 3)}$$

а коефіцієнт приведення маси першої мішалки М1 в точку закріплення другої мішалки М2 розраховуємо за такою формулою:

$$p = \frac{(a_1 + a)^2 (3a_2 + 4a_1 - 4a)}{a_1^2 (3a_2 + 4a_1)}$$

Для обидвох цих формул необхідно розрахувати наступні три значення за відповідними їм формулами:

$$a = \frac{l}{L} = \frac{1.5}{3.08} = 0.31$$

$$a_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{2.77}{3.08} = 0.86$$

$$a_2 = \frac{a_2}{L} = \frac{0.31}{3.08} = 0.13$$

І тепер розраховуємо значення q та p:

$$q = \frac{12}{(4{,}6 - 3 \cdot 0.86)^4 \cdot 0.86^2 \cdot (0.86 + 3)} = 0.25$$

$$p = \frac{(0.86 + 0.49)^2 (3 \cdot 0.13 + 4 \cdot 0.86 - 4 \cdot 0.31)}{0.86 \cdot (3 \cdot 0.13 + 4 \cdot 0.86)} = 0.28$$

Також розраховуємо масу мішалки:

$$\text{М}_{м} = S \cdot h \cdot \rho \cdot n$$

де h – товщина лопасті, становить 0,003 м.

n – кількість лопастей, шт.

ρ- густина матеріалу лопасті, кг/м^3

$$\text{М}_\text{м} = 0{,}165 \cdot 0{,}008 \cdot 7850 \cdot 4 = 41.45 \text{ кг}$$

Врахуємо масу ступіци мішалки. Висоту і діаметр мішалки беремо з довідника А. Г. Лащинського [28] і проводимо розрахунки за такими формулами:

$$V_c = \frac{\pi\, d_c^2 h_c}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.075^2 \cdot 0.18}{4} = 0.002208 \text{ м}^2$$

$$M_c = \rho \cdot V_c = \ 7850 \cdot 0.002208 = 17.33 \text{ (кг)}$$

$$\text{М}_{\text{м1}} = \text{М}_{\text{м2}} = \text{М}_\text{м} + \text{М}_\text{с} = 41.45 + 17.33 = 58.77 \text{ кг}$$

$$\text{М}_\text{пр} = \ 58.78 \cdot (1 + 0.28) + 58.78 \cdot 44.52 \cdot 3.59 = 116.75 \text{ кг}$$

Для того, щоб проводити подальші розрахунки нам потрібно визначити ще один безрозмірний параметр мішалки за такою формулою:

$$K = \frac{M_\text{пр}}{m \cdot L} = \frac{116.75}{44.52 \cdot 3.59} = 0.7$$

При цьому, а також ще значенні параметра a_1 визначаєм $\alpha = 1.9$ довідника А. Г. Лащинського [28].

І після цього визначаємо першу критичну частоту обертання для нашого перемішуючого пристрою за такою формулою:

$$\omega_{01} = \frac{\alpha^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} = \frac{1.9^2}{3.59^2} \cdot \sqrt{\frac{2.2 \cdot 10^{11} \cdot 1.55 \cdot 10^{-6}}{44.52}} = 31.56 \text{ рад/с}$$

Отже при використанні в даному перемішуючому пристрої валу діаметром мм виконується нерівність $\omega \leq 22.07 = 18.84 \leq 22.07$, що задовільняє умову вібростійкості.

Висновки

У результаті проведених розрахунків та технічного обґрунтування було спроєктовано реактор типу 1, об’ємом 2 м³ з внутрішнім діаметром обичайки 1000 мм та висотою 2200 мм. Апарат оснащено еліптичними днищами та кришкою, що приєднується до корпусу за допомогою фланцевого з'єднання. Робочий тиск у

реакторі становить 0.07 МПа, а розрахунковий – більший, враховуючи токсичність I класу середовища.

Матеріалом виготовлення обрано леговану нержавіючу сталь 12Х18Н10Т. Для забезпечення міцності та стійкості до зовнішнього тиску (1.03 МПа) встановлено товщину стінок обичайки, кришки та днища на рівні 12 мм. Обігрів реактора здійснюється за допомогою циліндричної сорочки з використанням водяної пари з температурою 180 °С.

Перемішування забезпечується дворівневою чотирьохлопатевою мішалкою з кутом нахилу лопатей 45°, діаметром 0.5 м. Розрахункова потужність приводу мішалки складає 1 кВт. Діаметр валу та його конструкція забезпечують вібростійкість установки.

Реактор класифікується як апарат I-го класу небезпеки, з урахуванням високого тиску, температури та токсичності робочого середовища.

РОЗДІЛ 9. БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

Для технологічної лінії з продуктивністю 320 т/рік було спроектовано одноповерхову промислову будівлю каркасного типу з стандартним кроком колон в 6 м. Прогін будівлі складає 12 м, а її довжина повинна бути 30 м, а висота становити 10.6 м. Основною несучою конструкцією каркасу виступають залізобетонні колонни з перерізом 400Х400 мм, що стоять на стовпчастому фундаменті з підколонниками стаканного типу, верхній зріз яких розміщується на позначці мінус 0.15 м. Фундаменти між собою зёєднані фундаментними балками трапецієвидного типу заввишки 450 мм, верхня площина яких розміщена на позначці мінус 0.03 м. Вони опираються на бетонні стовпці на виступах фундаменту. Під фундаментними балками зроблено траншею глибиною в 0.6 м, яку заповнюють крупнозернистим піском, що гасить можливі навантаження на балку у випадку піднімання грунту під дією грунтових вод.

На фундаментних балках зводяться самонесучі цегляні стіни будівлі, що мають товщину в 380 мм. Між балками і цегляною кладкою монтується гідроізоляція, яка складається з двох шарів рубероїду на бітумній мастиці. Внутрішні стіни та перегородки є цегляними і мають товщину 250 мм. Внутрішні поверхні стін повинні бути обшукатуреними та облицьованими плиткою на вистоту 2500 мм від рівня підлоги. Для цього використовуємо керамічну плитку з розміром 200Х200 мм. Для покриття будівлі використані залізобетонні плоскі крокв’яні балки завдовжки 12м і заввишки 1400 мм, на які укладені ребристі плити покриття заввишки 300 мм і розміром 300Х600 мм. Огороджувальна частина покриття складається з таких шарів: пароізоляції (шар руберойду з бітумною мастикою), теплоізоляції (керамзит з висотою 150 – 200 мм), шар для вирівнювання з піщано-цементного розчину завтовшки 20 мм, гідроізоляції (4 шари руберойду на бітумній мастиці) і захисний шар, що виконується з гравію та утопленого бітуму.

Водовідведення з покрівлі будівлі є внутрішнім і проводиться за допомогою водоприймальної лійки з оцинкованої бляхи і вертикальних полівінілхлоридних стояків діаметром 150 мм. Підлога цеху виконується суцільною по грунту з

відповідною бетонною підготовкою, яка є сумішшю бетона і дрібленої мармурової гальки.

Вікна, двері та ворота виконуються стандартними і виконуються з металопластику, дерева та листової сталі. Із зовнішнього боку стін по периметру будівлі для відведення дощових і талих вод проектується асфальтобетонне вимощення завширшки 1000 мм і ухилом від стін в 5%.

Приміщення передбачено обладнувати вентиляційною камерою розміром 5.8Х3.0 м, вхід в яку розташовуєьбся ззовні будівлі. Для зручності обслуговування апаратури, що розташована по відповідних рівнях, використовуємо естакаду з висотою в 4.46 м. Під естакадою розміщуються насоси та збірники. Всі майданчики виконуються зі сталевого профілю та листової сталі, майданчики мають загородження заввишки 1.3 м та сходи завширшки 0.7 м.

На підлозі під естакадою розміщаємо усі збірники та сховище, що зазначені на технологічній схемі, а на ній — усі реактори, мірники та бункери.

РОЗДІЛ 10. ОХОРОНА ПРАЦІ

10.1. Характеристика цеху виробництва пластифікатора на основі адипінової кислоти і пропіленоксиду

Виробництво пластифікатора на основі адипінової кислоти та пропіленоксиду (біс(2-гідроксипропіл) адипінату) включає в себе кілька небезпечних елементів, до яких входять використання сировини та побічних матеріалів, що мають токсичні та інші фізико-хімічні властивості, які здатні травмувати людей, викликати у них різноманітні захворювання та алергічні реакції. До таких речовин належать: адипінова кислота, пропіленоксид, поліпропіленоксид, перегріта водяна пара та продукти даного процесу. При виконанні своїх професійних обов'язків робочий персонал на даному виробництві може і буде повсякденно стикатися з багатьма ризиками своєму життю і здоров'ю, а тому для організації безпечного робочого середовища необхідно розуміти, яким чином людина може травмуватись на даному виробництві і як можна уникнути таких інцидентів. Основні ж ризики пов'язані з такими факторами:

1. Хімічні небезпеки:

- Усі використані на даному виробництві сполуки здатні викликати подразнення шкіри, очей та слизових оболонок. Особливу увагу слід приділити пропіленоксиду, оскільки окрім високої токсичності він додатково чинить мутагенну дію на живі організми.

2. Фізичні небезпеки:

- Термічні опіки. Зважаючи на те, що одним із теплоносіїв на даному виробництві є перегріта водяна пара існує ризи одержання опіків, при халатній роботі з обладнанням та трубопроводами, по яких вона рухається.
- Ураження струмом. Оскільки робота даного виробництва насоси відповідно додатково виникають ризики ураження струмом при халатні роботі з обладнанням або наявності оголених проводів.
- Механічні травми. Дані травми можна одержати при неправильній та легковажній поведінці під час роботи з механізмами, елементи яких можуть рухатися

з великими швидкостями. На даному виробництві до таких агрегатів можна зарахувати насоси.

3. Інші небезпеки:

- Розрив апаратів. Обладнання, що працює під високим тиском може розриватись при ігноруванні правил його конструювання та експлуатації.
- Падіння з висоти. Оскільки виробництво обладнано естакадою, а висота головного реактора складає майже 3 метри, цей фактор теж має місце бути при роботі з використаною в цеху апаратурою.
- Загоряння і вибух легкозаймистих речовин. Будучи високо леткою та легкозаймистою сполукою пропіленоксид може легко вибухати, що створює додаткові ризики при роботі з ним. Також утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям здатна й адипінова кислота якщо вона перебуває у вигляді дрібнодисперсного пилу.
- Експлуатація апаратів. При роботі всередині апаратів при їх ремонті або очистці в присутності парів токсичних речовин створюються додаткові ризики для працівників.
- Робота з вантажами. При переміщенні, роз- та завантаженні різноманітних матеріалів, що використовуються на даному виробництві також існують ризики одержання відповідних травм.

10.2. Шкідливі та небезпечні речовини

Таблиця 10.1

Токсичність речовин, використаних на виробництві

Назва речовини	Токсичність

Адипінова кислота	Дана сполука має низьку гостру токсичність. При ковтанні можливе подразнення дихальних шляхів. Тривалий контакт може викликати подразнення шкіри та очей. Не класифікується як канцерогенна, мутагенна, малотоксична для водних організмів. Оральна $ЛД_{50}$ >11000 мг/кг, дермальна >7940 мг/кг, інгаляційна $ЛК_{50}$ >7700 мг/м³. [29], [30]
Пропіленоксид	Дана сполука високотоксична при вдиханні, ковтанні та контакті зі шкірою. Спричиняє сильне подразнення очей, дихальних шляхів, шкіри та слизових. Підозрюється в мутагенній і канцерогенній дії, небезпечна для довкілля. Оральна $ЛД_{50}$ — 520 мг/кг, дермальна — 1240 мг/кг, інгаляційна $ЛК_{50}$ — 4000 мг/м³. [31], [32]
Поліпропіленоксид	Дана сполукамає низьку гостру токсичність і при нагріванні може виділяти подразнюючі пари. При тривалому впливі може незначно подразнювати шкіру та очі. [3]
МЕ/ДЕ	Диестер (ДЕ) — біс(2-гідроксипропіл)адипінат є цільовим продуктом, моноестер (МЕ) — напівпродукт з однією непрореагованою карбоксильною групою. Через структурну подібність до адипінату етиленгліколю вважається, що сполуки не є мутагенними чи канцерогенними, малонебезпечні для довкілля, можуть спричиняти подразнення очей і шкіри. Оральна $ЛД_{50}$ — близько 4100 мг/кг. [34]

Найбільш небезпечною при роботі на даному виробництві речовиною є пропіленоксид, оскільки через свою високу леткість та токсичність він становить серйозну загрозу для життя і здоров’я людини, незабуваючи вже про те, що він також чинить мутагенну дію на живі організми. Зважаючи на це необхідно забезпечити робочий персонал наборами, до яких будуть входити засоби захисту органів дихання, очей, а також спеціалізований одяг для роботи з токсичними речовинами. Також необхідно забезпечити приміщення хорошим провітрюванням, адже взявши до уваги

вище сказане можна стверджувати, що вдихання парів цієї речовини не є бажаним для людини.

Робота з адипіновою кислотою при її низьких концентраціях не є небезпечною для людини, але дана сполуку все-таки здатна подразнювати шкіру, очі та слизові оболонки людини, а будучи в дрібнодисперсному стані

при вдиханні подразнює відповідні органи дихання, а тому при роботі з нею рекомендується дотримуватись тих самих норм, що й при роботі з пропіленоксидом.

10.3. Виробнича санітарія

10.3.1. Умови мікроклімату [35]

Згідно з відповідними нормативними документами, категорія робіт за енерговитратами для апаратників, інженерів та лаборантів і операторів відноситься до відповідно високої для двох перших та середньої важкості для останніх. [35]

Для виробничого персоналу відповідно до стандартів оптимальними метеорологічними умовами праці згідно з [35] є такі:

- Для лаборантів та операторів:

- Холодний період року. Необхідно підтримувати робочу температуру в межах від 23 °С до 17 °С, відносна вологість повинна становити 75%, швидкість руху повітря на робочих місцях повинна становити не більше 0.3 м/с.
- Теплий період року. Необхідно підтримувати робочу температуру в межах від 17 °С до 27 °С, відносна вологість повинна становити 65% при 26 °С, швидкість руху повітря на робочих місцях повинна становити не більше 0.3 м/с.

- Для апаратників та інженерів:

- Холодний період року. Необхідно підтримувати робочу температуру в межах від 12 °С до 20 °С, відносна вологість повинна становити 75%, швидкість руху повітря на робочих місцях повинна становити не більше 0.5 м/с.
- Теплий період року. Необхідно підтримувати робочу температуру в межах від 13 °С до 28 °С, відносна вологість повинна становити 75% при 24 °С і

нижче, швидкість руху повітря на робочих місцях повинна становити не більше 0.6–0.5 м/с.

10.3.2. Шум та вібрація [36]

Шум на виробництві є тим фактором, який може негативно впливати на самопочуття та здоров'я людей. Зазвичай він спричиняється роботою таких апаратів: насосів, двигунів, котлів, теплообмінників, трубопроводів, що працюють під тиском та перемішуючих пристроїв.

Понаднормове перевищення шуму здатне негативно впливати на працівників, а особливо на їх слух. Його ушкодження залежать від інтенсивності та тривалості шуму, а також його характеру та спектру. Серед усіх його видів саме імпульсний чинить найбільш негативну дію на людей.

Також не варто забувати про вібрацію апаратури, яка при недотриманні профілактичних заходів здатна призводити до різноманітних негативних змін у нервовій системі, втрати контролю над працюючим обладнанням, що теж може призводити до травматизму та аварій та виникнення вібраційної хвороби а також інших недуг опорно-рухового апарату та нервової системи.

Зважаючи на нормативні документи варто зазначити, що рівень звукового тиску на робочому місці не повинен перевищувати 85 децибел, допустимий рівень шуму мусить бути 80 децибел, а для технологічних вібрацій у вертикальному та горизонтальному напрямках допустимий корегований рівень віброшвидкості має складати 101 децибел.

Для зменшення негативного впливу шуму можна проводити комплекс з різноманітних заходів, спрямованих або на зниження шкідливих факторів у його джерелах або на шляху поширення. Зменшення шляху його поширення або блокування його загалом досягається за допомогою архітектурно-планувальних та акустичних заходів колективного захисту від шуму, таких як:

1. Конструкції будівель, які включають в себе різноманітні шумопоглинаючі матеріали, що дає можливість поглинати частину звукової енергії та зменшувати її поширення.

2. Шумозахисні екрани та бар'єри, які можуть розміщуватись навколо джерел шуму, щоб зменшити його рівень та стати на заваді його поширення.

3. Акустичні екрани, що встановлюються на внутрішніх стінах та стелях приміщень для поглинання звукової енергії та зменшення відлуння.

4. Раціональне планування території, яке враховуватиме розташування джерел шуму та розташування населених пунктів, щоб мінімізувати їх дотикання один до одного. [36]

10.3.3 Освітлення [37]

Загалом для будь-якого виробництва передбачається два типи освітлення: Природнє, організоване з допомогою вікон, а також штучне, яке досягається з використанням різноманітних ламп.

Для створення сприятливих умов праці, що не будуть нести ніякої загрози життю і здоров'ю працівників виробниче освітлення на даному виробництві потрібно виконати у відповідності до таких вимог:

- Освітленість, що встановлюється на робочій поверхні, повинна відповідати характеру зорової роботи і бути ненижчою за встановлені норми IV-го розряду (середньої точності);
- Потрібно забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у приміщеннях, щоб уникнути частої переадаптації органів зору;
- Відсутність засліплюючої дії від самих джерел освітлення, а також від інших предметів та апаратів, що знаходяться під ними;
- Освітлення повинне бути достатнім для розділення деталей та контрасту поверхонь;
- Дане освітлення не повинно приносити ніяких шкідливих виробничих чинників;

- Освітлення повинно бути простим та надійним в експлуатації;

Штучне освітлення можна також організувати у вигляді двох підтипів: загального та комбінованого, але на даному виробництві все-таки рекомендується використовувати перший з них, при якому лампи повинні розміщуватися в верхній зоні приміщення з відповідним урахуванням робочих місць. [37]

10.3.4 Опалення й вентиляція

Будівництво системи опалення повинно виконуватись одночасно з

будівництвом виробничо-побутових приміщень. Серед усіх його типів на даний момент для обігріву виробництв застосовують центральне, повітряне або інфрачервоне.

Для всіх цих методів обігріву джерелом теплопостачання є котельня промислового підприємства, яка забезпечує теплову енергію для об’єктів на території заводу. У котельній Необхідно встановлювати два двоконтурні котли потужністю 23.5 кВт — один з них є основним, другий — резервним.

Система опалення буде спроектована як двотрубна тупикова, з нижнім прокладанням магістралей у конструкції підлоги. Температурний режим теплоносія повинен становити: для подачі — 70 °С, а для зворотного ходу — 50 °С.

Для вентиляції приміщення передбачено встановлення витяжної системи загально обмінного типу, яка ефективно видаляє забруднене повітря, а надходження свіжого можна здійснюється через дверні та віконні прорізи.

10.4. Електробезпека [38] – [40]

Електротравми виникають у результаті впливу електричного струму як техногенного, так і природного походження. Згідно зі статистичними даними, основною причиною більшості нещасних випадків під час експлуатації електрообладнання є нехтування правилами техніки безпеки. Електричне устаткування, з яким регулярно мають справу працівники на виробництві, є

потенційно небезпечним через те, що людські органи чуття не здатні визначити наявність електричної напруги на відстані. Під час проходження через тіло людини електричний струм чинить термічну, електролітичну, механічну й біологічну дію. Термічний вплив проявляється у вигляді опіків окремих ділянок шкіри, перегріванням судин і внутрішніх органів, що може викликати порушення їх функцій. Електролітична дія пов'язана з хімічним розкладом крові та інших біологічних рідин. Механічна дія полягає в розриві тканин під впливом електродинамічних сил. Біологічний ефект виявляється у небезпечному збудженні клітин і тканин, що викликає судоми. У деяких випадках це може призвести до серйозних збоїв або навіть зупинки дихання і серцевої діяльності.

Задля організації безпечних умов праці для працівників виробництва усі прилади, що при роботі живляться електричними струмом повинні бути заземленими та зануленими. Поруч з усіма пусковими пристроями потрібно встановлювати коврики або помости, що виконані з ізоляційного матеріалу, який не є здатним проводити електричний струм. Також не варто забувати, що для запобігання утворенню зарядів статистичної електрики вологість в приміщенні повинна триматись в межах 70%.

Також задля попередження виникнення електростатичної індукції в металічних корпусах апаратів та інших конструкціях необхідно з'єднувати їх між собою таким чином, щоб утворювався єдиний безкінечний електричний ланцюг, що буде заземлятись в кількох місцях.

Усі будівлі необхідно обладнати блискавкозахистом, що складається з таких трьох елементів: громовідводу, заземлювача й струмовідводу. [38] – [40]

10.5. Пожежна безпека [41] – [45]

Згідно з відповідними стандартами дане виробництво потрібно віднести до категорії А вибухонебезпечна згідно з відповідними нормативними документами. З точки зору пожежо- та вибухонебезпечності небезпеку складає пропіленоксид,

адипінова кислота, адже одна з них є високо леткою і легкозаймистою, а інша здатна утворювати вибухові суміші з повітрям.

В приміщеннях де вони зберігаються необхідно заборонити використання джерел відкритого вогню, а також використання інструментів, що можуть давати іскру, Електроапаратура та засоби освітлення повинні мати вибухобезпечне виконання.

Для гасіння пожежі водою необхідно використовувати пожежний водопровід, об'єднаний із виробничим. У будівлі на його мережі необхідно встановлювати пожежні крани з брезентовими підводами, а ззовні будівлі необхідно по її периметру встановити колодязі з пожежними гідрантами. Для доступу на дах будівлі використовуються пожежні сходи, укріплені на стінах.

На даному виробництві реалізовується такий комплекс заходів для забезпечення нормального протипожежного стану підприємства згідно з Кодексу цивільного захисту України та правил пожежної безпеки України, затверджених за наказом МВС від 31.12.2014 р. № 1417. Відповідно до них протипожежний режим включає:

- Порядок утримання шляхів евакуації;
- Визначення спеціальних місць для курців;
- Порядок застосування відкритого вогню;
- Порядок використання побутових нагрівачів;
- Порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робі;
- Порядок відключення електроживлення обладнання при пожежі;
- Порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електричного та іншого інженерного обладнання;
- Порядок збору пожежно-рятувального підрозділу та добровільної пожежної охорони та посадових осіб, відповідальних за пожежну безпеку у разі виникнення пожеж, нічних викликів, у вихідні чи святкові дні;
- Порядок дій у разі виникнення пожеж: способи та порядок сповіщення людей, виклику рятувальних підрозділів, вимкнення електричного обладнання та застосування засобів гасіння пожеж;

Кількість та вимоги стосовно облаштування аварійних виходів з будівель на вулицю відповідають вимогам відповідних стандартів. Усі будівлі повинні бути обладнаними сигналізацією та засобами зв'язку. Двері евакуаційних виходів повинні відчинятися в напрямку виходу з будівлі і за наявності людей в приміщенні повинні закриватись лиш на внутрішні замки, що відкриваються без ключів. Також для попередження пожеж всі процеси необхідно проводити в герметичних апаратах, обладнати приміщення датчиками диму і для попередження викиду пари з обладнання спорядити його автоматичними пристроями, що зменшують можливість викиду. [41] – [45]

Висновки

Дотримання всіх правил та норм охорони праці завжди є важливим, тому що від цього залежить не лише продуктивність виробництва а й безпека та здоров'я обслуговуючого персоналу. В даному розділі було оглянуто організацію безпечного робочого середовища на виробництві нового пластифікатора для полімерних матеріалів на основі адипінової кислоти і оксиду пропілену, який може знайти широке застосування в промисловості синтетичних матеріалів, а також у дотичних до неї царинах індустрії. Зважаючи на особливості використаної сировини та одержуваної продукції, а також на умови проведення технологічного процесу робимо висновок, що для забезпечення комфортних умов праці і мінізування шкідливого впливу на здоров'я персоналу необхідно обладнати цех цього виробництва вентиляцією, а також організувати видачу відповідного захисного одягу та контролю за його належним використанням.

Даний розділ оглянув умови праці для робітників підприємства, виконання яких дасть можливість максимально безпечно і продуктивно працювати без серйозних ризиків для життя та здоров'я усіх людей, що перебувають як на території виробництва, так і за його межами

РОЗДІЛ 11. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

11.1. Огляд галузі [46]

Даний продукт є новим доповненням до великого класу пластифікаторів, які як правило є естерами адипінової кислоти з різноманітними спиртами і оскільки у виробництво така сполука ще не була впроваджена доцільно аналізувати стан ринку даної продукції на основі ринку адипінати етиленгліколю, який має доволі схожу з даною сполукою хімічну будову та використовується у виробництві поліуретанів, біомедичних матеріалів, покриттів та клеїв, а також як пластифікатор полімерних матеріалів. Згідно з статтею Cognitive Market Research глобальний ринок даної сполуки досягне 800 мільйонів доларів США до 2033 року, зростаючи з темпом 7.2% CAGR з 2026 по 2033 рік, що дає можливість оцінити й припустити, що замінники даного типу пластифікатора мають можливість теж знайти широке застосування і мати успіх на ринку даного типу продукції. [46]

11.1.1. Стан ринку реалізації продукції [47]

Реалізацію готового пластифікатора на початкових стадіях роботи виробництва планується проводити на всеукраїнському ринку, адже спроби реалізації цього продукту на закордонних ринках може зіштовхнутись з висококонкурентним середовищем, робота в якому вимагатиме затрату ресурсів, яких спочатку може й не бути в достатній кількості. Попит на дану (тай будь-яку високоспецифіковану продукцію) на даний час, зважаючи на нестабільність в нашому регіоні тай світі загалом, не є сталою, але судячи по огляду ринку подібного за призначенням і хімічною будовою вищезгаданого адипінату етиленгліколю, обсяг ринку якого на 2024 рік становив 450 мільйонів доларів США і очікується, що він становитиме приблизно 800 мільйонів доларів США до 2033 року згідно з даними Verified Marke Reports можна з впевненістю казати, що дана нова добавка для синтетичних матеріалів на основі адипінової кислоти і оксиду пропілену має можливість також стати комерційно успішною на ринку відповідної продукції [47]

11.1.2. Розподіл ринку

Основну частину замовників можуть складати виробництва різних форм власності і масштабів, що можна з впевненістю констатувати, зважаючи на тип і методи застосування даного продукту. Саме тому було вибрано принцип сегментування за типами споживачів:

1. Приватні замовники (фізичні особи, навчальні заклади);
2. Державні структури (наприклад, заклади вищої освіти та науково-дослідні інститути);
3. Кооперaційні організації (промислові виробництва полімерних матеріалів);
4. Комерційні фірми (наприклад, аналітичні контори);
5. Інші організації, яким може знадобитись даний продукт.

11.1.3. Огляд конкурентного середовища [48]

За результатами огляду доступних джерел виявилось, що в нашій країні немає підприємств, які займаються виготовленням пластифікаторів на основі адипінової кислоти та оксиду пропілену. І хоча немає інформації про виготовлення даного продукуту й закордонними фірмами все-таки до переліуку конкурентів, які теоретично можуть також вести розробку і впровадження в виробництво нових типів добавок для полімерних добавок можна занести такі фірми: [48]

1. Sigma-Aldrich;
2. Johnson Matthey;
3. Songwon;
4. BASF;

11.1.4. Оцінка ринку сировини та матеріалів

Для забезпечення діяльності даного іиробництва необхідно забезпечити його такою сировиною та матеріалами:

1. Адипінова кислота;
2. Пропіленоксид;

3. Вода;

Вартість усієї необхідної сировини, енергоносіїв та матеріалів представлена в таблиці 11.1

Таблиця 11.1

Вартість сировини, енергоносіїв та матеріалів [49], [50], [51]

№ з/п	Назва матеріалів	Одиниці виміру	Ціна, грн
1	Адипінова кислота	кг	52.5
2	Пропіленоксид	л	60.27
3	Вода	л	0.03637

Окрім виробників даних матеріалів в даному регіоні є також постачальники з інших регіонів та країн.

Список цих постачальників і цін на матеріали й сировину вказано в таблиці 11.2

Таблиця 11.2

Постачальники матеріалів та сировини [49], [50], [51]

№ з/п	Назва реагентів та матеріалів	Постачальні фірми	Ціна, грн/од
1	Адипінова кислота	Taian Health Chemical Co., Ltd. (Китай) [49]	52.5
2	Пропіленоксид	ICIS – Propylene Oxide Market Overview [50]	60.27

3	Вода	ЛМКП Львівводоканал, Україна, Львів [51]	0.03637

11.2. Інформація про виробництво та його продукцію

11.2.1. Вибір місця розташування

Для розташування цехів даного виробництва необхідні приміщення площею 288 м^2. Підприємство необхідно забезпечити досвідченим персоналом, що дасть змогу витримати якість продукції і ефективність, а також й безпечність праці на високому рівні. Забезпечення хорошої логістики та ефективного переміщення сировини та готової продукції разом з легкою досяжністю для робітників з навколишніх населених пунктів досягається завдяки доступності автомобільних та залізничних сполучень.

11.2.2. Вимоги до приміщення

Також варто коротко описати основні вимоги до виробничих приміщень, якими є забезпечення його електроенергією, водопостачанням, водовідведенням та вентиляцією, під'їздними шляхами та антивібраційними й шумовловлюючими засобами.

11.2.3. Обсяг вкладеного капіталу

Для запуска виробництва з застосуванням сучасного технологічного обладнання необхідно залучити 75353 тис. грн. коштів, напрямки і об'єкти яких показано в таблиці 11.3

Таблиця 11.3

Напрямки та об'єкти застосування коштів

№ з/п	Напрямки залучених коштів	Сума вкладених коштів, грн
1	Закупівля обладнання	
	- Виробнича апаратура	1959219
	- Офісне обладнання	120000
2	Встановлення виробничої апаратури	195922
3	Витрати на формування обігових коштів (закупівля сировини, товарний запас та енергоносії)	81761540
4	Поточний ремонт будівлі	50000
5	Профілактичний ремонт апаратури	85000
6	Разом	84171681

11.2.4. Розрахунок витрат виробництва

Режим роботи підприємства описано в таблиці 11.4

Таблиця 11.4

Запланований робочий режим

Режим роботи	3 зміни
Тривалість робочого дня	8 годин
Фонд робочого часу	7920 годин

Розрахована продуктивність цеху виробництва після виходу на повну потужність буде такою:

1. 26666.67 кг/місяць;
2. 3200000 кг/рік;

11.2.5. Трудові витрати

Середньомісячні розміри заробітньої плати та чисельність штатних працівників.

Штат працівників буде таким:

- Керівний склад:
    1. Начальник цеху – 1 особа;
    2. Інженер-хімік – 1 особа;
    3. Оператор – 2 особа;
- Виробничий персонал:
    1. Слюсар – 2 особи;
    2. Електрик – 1 особа;
    3. Апаратник – 2 особи;
- Обслуговуючий персонал:
    1. Прибиральник – 2 особи;
    2. Охорона – 1 особа;

Розраховування місячного фонду оплати праці показано в таблиці 11.5

Таблиця 11.5

Розрахунок місячного фонду оплати праці

№ з/п	Персонал	Кількість, осіб	Заробітна плата в місяць, грн	ФОП в місяць, грн
1	Начальник цеху	1	32000	39040
2	Інженер-хімік	1	25000	30500
3	Оператор	2	22000	26840
4	Робітники	5	20000	24400
5	Обслуговуючі робітники	3	15000	18300
	Усього	12	114000	139080

Розрахунок витрат ФОП на рік обраховується як 139080 · 12 = 1668960 грн.

Комунальний податок (10 % від неоподаткованого мінімуму на особу) і

відповідно складає 302,8 грн./рік і Разом нарахувань на заробітну плату (нарахування на ФОП і комунальнийподаток) становлять 1669262.8 грн./рік.

11.2.6. Витрати на електроенергію

Вартість використаної електроенергії за рік складає 7085905.20 грн, з врахуванням спожитої за зміну кількості 1261.60 кВт разом з тарифом 8.51 [52] грн/кВт·год, який дає в сумі 10736.22 грн витрат за одну зміну.

11.2.7. Супутні витрати

Розрахунок загальної вартості апаратури та її встановлення наведено в таблиці 11.6

Таблиця 11.6

Вартість апаратури та її встановлення

№ з/п	Назва технологічного обладнання	Кількість	Вартість обладнання, грн	Вартість монтажу, грн	Разом, грн
1	Реактор для реакції адипінової кислоти з пропіленоксидом	1	1250000	125000	1375000
2	Сховище пропіленоксиду	1	92348	9234.8	101582.8
3	Мірник пропіленоксиду	1	67015	6701.5	73716.5
4	Бункер адипінової кислоти	1	55782	5578.2	71360.2

5	Шнековий транспортер	1	21525	2152.5	23677.5
6	Конденсатовідділювач	2	19648	1964.8	21612.8
7	Випарник	1	54635	5463.5	60098.5
8	Колона	1	62348	6234.8	68582.8
9	Насоси	5	30974	3097.4	34071.4
10	Збірник відігнаного пропіленоксиду	1	63548	6354.8	69902.8
11	Збірник кубового залишку відгонку пропіленоксиду	1	43589	4358.9	47947.9
12	Збірник регенерованого пропіленоксиду	1	59872	5987.2	65859.2
13	Збірник кубового залишку регенерації пропіленоксиду	1	42156	4215.6	46371.6
14	Холодильник-конденсатор пропіленоксиду	1	17678	1767.8	19445.8
15	Теплообмінник для охолодження кубового залишку відгону пропіленоксиду з реакційної маси	1	14876	1487.6	16.363.6

16	Теплообмінник для підігріву теплоносія для випарника	1	19458	1945.8	21403.8
17	Холодильник-конденсатор для регенерації пропіленоксиду	1	15694	1569.4	17263.4
18	Теплообмінник для охолодження кубового залишку регенерації пропіленоксиду	1	12379	1237.9	13616.9
19	Теплообмінник для доохолодження регенерованого пропіленоксиду	1	15694	1569.4	17263.4
	Разом	24	1959219	195921.9	2155140.9

Річний ремонт будівлі вимагає таких коштів:

1. На рік: 13000 грн/рік.
2. На місяць: 13000 : 12 = 1083.33 грн/міс.

Профілактичний ремонт апаратури становть:

1. На рік: 85000 грн/рік.
2. На місяць: 85000 : 12 = 7083.33 грн/міс.

Витрати на рекламу становлять 10000 грн/міс.

Транспротні витрати становлять:

1. На рік: 2500000 грн/рік.
2. На місяць: 1800000 : 12 = 20833.33 грн/міс.

11.2.8. Програма виробництва і реалізації продукції

Виробництво пластифікатора повинно здійснюватись рівномірно протягом 10 місяців року. В період зими, а саме в січні і лютому, необхідно проводити ремонтні роботи, що пов'язано з особливостями цього підприємства.

Реалізовувати товар пропонується циклічно і в залежності від сезону. Пік реалізації припадатиме на літній період, а мініму — на період зими. Пеердбачуваний план виробництва і реалізації вказано в таблиці 11.7

Таблиця 11.7

План реалізації продукції по роках в тонах

Назва показника	Роки				
	1	2	3	4	5
Обсяг готової продукції, т	314	325	330	339	358
Обсяг реалізованої продукції, т	304	317	315	328	345
Залишок нереалізованої продукції на кінець періоду, т	10	8	15	11	13

11.2.9. Маркетингова стратегія

Реалізацію готового продукту заплановано з і складу виробництва самовивозом, або поштою.

Спочатку реалізовувати товар пропонується за ціною 325 грн. за кг. Ціна є встановленою виходячи з цін конкурентів у регіоні і вартості матеріалів, забезпечуючи норму прибутку в 15% за повної потужності. Рекламу ж пропонується подавати в різноманітних інтернет магазинах, прикладами яких є Rozetka та Prom та торгівельних посередниках а також в соціальних мережах, прикладами яких є Tiktok, Instagram та Facebook. Стратегію маркетингу необхідно обирати опираючись на

новизну даного продукту, а сумарні витрати за рекламу та розповсюдження продукції передбачені в розрахунку витрат підприємства.

11.2.10. Організаційний план

Припускається, що для виробництва та реалізації нового продукту буде створюватись нове виробництво, а тому рекомендується такий операційний план для інвестиційного періоди, який наведено в таблиці 11.8

Таблиця 11.8

Операційний план для інвестиційного періоду

Найменування заходу	Періоди реалізації проєкту											
	Місяці першого року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Передінвестиційна стадія												
Підготовка і попередній ремонт приміщень												
Постачання сировини і матеріалів												
Навчання персоналу												
Постачання обладнання												
Монтаж обладнання												
Проведення пусконалагоджувальних робіт												
Проходження державного контролю												
Вихід на 30% місячної продукції												

Вихід на 60% місячної продукції												

Доінвестиційний період триватиме 1 місяць і включатиме в себе експерну оцінку бізнес-плану, підписання установчих документів, договору про інвестиційне кредитування, постачання апаратури, укладання договорів з підрядниками на монтажні та пускові роботи, а також укладання попередніх домовленостей про постачання сировини і матеріалів.

Інвестиційний період триватиме 2 місяці і триватиме в кілька етапів в залежності від відповідальності виконавців.

Перший етап інквестиційного процесу відбуватиметься до введення підприємства в експлуатацію та охоплюватиме закупку й монтаж апаратури. Інвестиції ж здійснюватимуть власник і банк. Надалі фінансування забезпечуватиметься самим підприємством в ході його діяльності.

11.2.11. Аналіз економічної ефективності

Тепер ми проведемо короткий висновок по роботі, виконаній у попередніх розділах, і представимо її у вигляді кошторису витрат на нове виробництво. Єдини енергоресурсом, що буде використовуватись на даному виробництві буде електронергія, а тарою для продукта можуть виступати вироби з поліетилену високої щільності.

Амортизацію ж розрахуємо так, що вартість обладнання становитиме 2155140.9 грн, час експлуатації апаратури буде 5 років, а ліквідаційна вартість становитиме 50000 грн.

Амортизація:

1. Річна: $(2155140.9 - 50000) : 5 = 421028.18$ грн/рік;
2. Місячна: 421085.18: 12 = 35085.68 грн/міс.

Відрахування на соціальні потреби складатимуть не більше 4% від загальної робочої оплати: 139080 · 0.04 = 5.563.2 грн/міс.

Поточні ж витрати будуть рівні 2% від вище перерахованих витрат і становитимуть 1494118.22 грн/місяць. Витрати, що йдуть на виробництво продукції на 1 місяць наведено в таблиці 11.9.

Таблиця 11.9

№ з/п	Економічні елементи	Витрати, грн
1	Матеріальні витрати:	
2	Сировина та матеріали	77085776
3	Енергоресурси	7085905.20
4	Тара	38675
5	Амортизаційні відрахування	35085.68
6	Оплата праці	139080
7	Відрахування на соціальні потреби	5563.2
8	Поточні витрати	1494118.22
9	Ремонт споруди	1083.33
10	Ремонт обладнання	7083.33
11	Реклама	10000
12	Транспортні витрати	20833.33
	Усього	85902370

Фінальною стадією є визначення основних економічних показників:

1. Ціна реалізування одиниці продукту 325 грн/кг.
2. Собівартість виготовлення одиниці продукту при повні потужності 267 грн/кг.
3. Прибуток на одиницю продукту за оподаткування 58 грн/кг.
4. Рентабельність 58:267·100% = 22 %.

Висновки

Зважаючи на сукупність ключових економічних факторів, можна зробити висновок, що проєктування виробництва даного типу продукції є доцільним та перспективним. Попит на ринку демонструє стабільне зростання, а хімічна подібність нового продукту до адипінату етиленгліколю відкриває можливість ефективного імпортозаміщення на українському ринку. Відсутність прямих конкурентів створює сприятливі умови для освоєння нової ринкової ніші, тим більше, що технологія виробництва не потребує дефіцитного обладнання чи матеріалів, а основною енерговитратою залишається електроенергія. Продукт має конкурентну ціну, що підвищує його ринкову привабливість і дозволяє забезпечити прибутковість навіть за умов внутрішнього збуту. Новизна та унікальність пластифікатора дають змогу ефективно позиціонувати його на ринку без необхідності конкурувати з уже усталеними брендами. Завдяки оптимальній організації виробничого процесу в три зміни протягом 10 місяців очікується повне завантаження виробничих потужностей, що сприятиме зниженню собівартості та підвищенню рентабельності. Запуск виробництва вимагає відносно невеликих інвестицій і має високий потенціал для залучення як споживачів, так і партнерів серед локальних виробників полімерів, державних і приватних структур. Додатковою перевагою є можливість ефективної співпраці з міжнародними постачальниками та місцевими ресурсними службами. Усе це свідчить про те, що даний продукт, маючи низку важливих переваг над аналогічними пластифікаторами, здатен зайняти успішну й стабільну позицію на відповідних ринках збуту.

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі на тему «Проєкт відділення виробництва пластифікатора на основі пропіленоксиду продуктивністю 320 т/рік» успішно виконано всі поставлені завдання. Здійснено розрахунок матеріального балансу та створено математичну модель матеріальних потоків у середовищі Excel, що дозволяє визначати обсяг товарної продукції залежно від продуктивності установки. Проведено технологічні розрахунки, на основі яких обрано необхідне обладнання та розроблено принципову технологічну схему виробництва. Виконано механічний розрахунок основного реактора з обґрунтуванням вибору типу днищ, сорочки, перемішувального пристрою та способу його встановлення, а також визначено основні геометричні параметри апарата та мішалки. На плані промислової будівлі скомпоновано технологічну лінію для виробництва, зокрема для отримання бензилового спирту. Виробниче приміщення має ангарний тип конструкції з прольотом 12 м, довжиною 24 м та висотою 7,4 м. У розділі охорони праці розглянуто заходи з техніки безпеки, а також наведено санітарно-гігієнічні вимоги до роботи в умовах цього виробництва. У економічному розділі наведено розрахунки, що демонструють ефективність виробництва: собівартість 1 кг пластифікатора становить 267 грн, ціна реалізації — 325 грн, прибуток без урахування оподаткування — 58 грн, рентабельність виробництва — 22%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1.] Verified Market Research – Global Polymer Market Size and Forecast. Онлайн ресурс:

https://www.verifiedmarketresearch.com/product/global-polymer-market-size-and-forecast

[2.] PS Market Research – Polymer Market Analysis and Forecast. Онлайн ресурс: https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/polymer-market

[3.] Cognitive Market Research – Plastics and Polymers Market Report. Онлайн ресурс: https://www.cognitivemarketresearch.com/plastics-and-polymers-market-report

[4.] Lucintel – Polymer Market: Trends, Forecast, and Competitive Analysis. Онлайн ресурс:

https://www.lucintel.com/polymer-market.aspx

[5.] Plastics Europe – Plastics – the Facts 2023. Онлайн ресурс: https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2023

[6.] European Bioplastics – Market Data 2024. Онлайн ресурс:

https://www.european-bioplastics.org/market

[7.] Ebewele, R. O. Polymer Science and Technology / R. O. Ebewele. – Boca Raton: CRC Press, 2000. – 483 p.

[8.] Subramanian, M. N. Plastics Additives and Testing / M. N. Subramanian. – Hoboken: John Wiley & Sons; Salem: Scrivener Publishing, 2013. – 232 p.

[9.] ScienceDirect – A review on plasticizers and the necessity of eco-friendly alternatives. Онлайн ресурс:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391021001437

[10.] Барштейн Р. С., Кирилович В. І., Носовський Ю. Є Пластифікатори для полімерів. — М.: Хімія, 1982. — 200 с., іл

[11.] Lutz J. T., Jr., Grossman R. F. (ред.). Polymer Modifiers and Additives. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018. 507 с. ISBN 978-0-8247-9949-6.

[12.] Patel, M. et al. (2020). “Non-catalytic synthesis of bio-based plasticizers via ring-opening of epoxides.” Journal of Industrial Chemistry, 45(3), 112–118.

[13.] Kroschwitz, J. I. & Howe-Grant, M. (2005). Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Wiley-Interscience.

[14.] Clayden, Greeves, Warren, Wothers (2012). Organic Chemistry. Oxford University Press.

[15.] March's Advanced Organic Chemistry – Michael B. Smith, Jerry March.

[16.] Bayer AG Technical Sheets on Propylene Oxide Applications.

[17.] Адипінова кислота та її властивості. Онлайн ресурс:

https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB0718158_EN.htm

[18.] Адипінова кислота та її властивості. Онлайн ресурс:

https://en.wikipedia.org/wiki/Adipic_acid?utm_source=chatgpt.com

[19.] Пропіленоксид та його властивості. Онлайн ресурс:

https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB9854235.htm?utm_source=chatgpt.com

[20.] Пропіленоксид та його властивості. Онлайн ресурс:

https://www.fishersci.com/shop/products/propylene-oxide-99-5-extra-pure-acroseal-thermo-scientific/AC430861000?utm_source=chatgpt.com

[21.] Властивості поліпропіленоксиду. Онлайн ресурс:

https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene_glycol?utm_source=chatgpt.com

[22.] Олігомери поліпропіленоксиду. Онлайн ресурс:

https://www.polymersource.ca/index.php?path=2556_27_187&route=product%2Fcategory&utm_source=chatgpt.com

[23.] Властивості 6-(2-гідроксиетокси)-6-оксо-гексанової кислоти. Онлайн ресурс:

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/004066086?utm_source=chatgpt.com#section=2D-Structure

[24.] Властивості біс(2-гідроксіетил) адипінату. Онлайн ресурс:

https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB8922537.htm?utm_source=chatgpt.com

[25.] ДСТУ 7311:2013 Кислота адипінова. Технічні умови.

[26.] Склад технічного пропіленоксиду. Онлайн ресурс:

https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/220160010?utm_source=chatgpt.com

[27.] Касаткін А. Г. Основні процеси і апарати хімічної технології / А. Г. Касаткін ; ред. А. А. Вексер; техн. ред. В. Ф. Зазульська, П. В. Погудкін. — Москва : Держхіміздат, 1961. — 672 с

[28.] Основи конструювання і розрахунку хімічної апаратури. Лащинський А. А., Толчинський А. Р., Л., «Машинобудування», 1970 р., 752 стр. Табл. 476. Мал. 418. Бібл. 218 назв.

[29.] Брошура з техніки безпеки для адипвнової кислоти. Онлайн ресурс: https://www.fishersci.com/store/msds?countryCode=US&language=en&partNumber=A44500&productDescription=ADIPIC+ACID+POWDER+CERT+500G&vendorId=VN00033897&utm_source=chatgpt.com

[30.] Брошура з техніки безпеки для адипінової кислоти. Онлайн ресурс:

https://download.basf.com/p1/000000000030774372_SDS_GEN_MX/en_MX/Adipic_Acid_-_F_30774372_SDS_GEN_MX_en_4-0.pdf?utm_source=chatgpt.com

[31.] Брошура з техніки безпеки для пропіленоксиду. Онлайн ресурс: https://www.fishersci.com/store/msds?countryCode=US&language=en&partNumber=AC430861000&productDescription=PROPYLENE+OXIDE+AC+100ML&vendorId=VN00032119&utm_source=chatgpt.com

[32.] Брошура з техніки безпеки для пропіленоксиду. Онлайн ресурс: https://www.cdhfinechemical.com/images/product/msds/37_451189220_PROPYLENEOXIDECASNO75-56-9MSDS.pdf?utm_source=chatgpt.com

[33.] Брошура з техніки безпеки поліпропіленоксиду. Онлайн ресурс: https://www.acplasticsinc.com/media/documents/polypropylene%20sds.pdf?utm_source=chatgpt.com

[34.] Брошура з техніки безпеки для естеру адипінової кислоти та етанолу Онлайн ресурс:

https://www.carlroth.com/medias/SDB-23X8-IE-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNlY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDMwOTN8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFHVXhMMmd3T0M4NU1UY3lOVEl5T0Rrek16UXlMMU5FUWw4eU0xZzRYMGxGWDBWT0xuQmtaZ3w2NzNmZjAyZjA3NmRhNDJkODVjZjFjY2JhMDlkZTAwZTczZDQ2ZTFkYWUyNTBmMjk2ZmY4NTE1ODRjZGI5NjU2&utm_source=chatgpt.com

[35.] ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

[36.] ДСН 3.3.6.037–99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

[37.] ДБН В.2.5-28-2018 «Природне та штучне освітлення»

[38.] НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

[39.] ПУЕ. Наказ Міненерго вугілля України від 21.07.2017 № 476.

[40.] ДНАОП 0.00–1.21–98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

[41.] ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

[42.] ДБН В.2.2-9:2018 «Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення»

[43.] ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги»

[44.] ДБН В.2.2-15:2019 «Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення»

[45.] ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення»

[46.] Cognitive Market Research: Ethylene Glycol Adipate Market Forecast to 2033. Онлайн ресурс:

https://www.cognitivemarketresearch.com

[47.] Verified Market Reports. Ethylene Glycol Adipate Market Size and Forecast (2024–2033). Онлайн ресурс:

https://www.verifiedmarketresearch.com

[48.] MarketWatch Report. Plasticizer Market – Competitive Landscape Analysis. Онлайн ресурс:

https://www.marketwatch.com

[49.] Адипінова кислота – Taian Health Chemical Co., Ltd. (Китай), ціна: 52.5 грн/кг. Онлайн ресурс:

https://www.alibaba.com/product-detail/Adipic-Acid-CAS-124-049_1600635947727.html

[50.] Пропіленоксид – за середньою ринковою ціною: 60.27 грн/л. Онлайн ресурс:

https://www.indexbox.io/search/propylene-oxide-price-ukraine/?utm_source=chatgpt.com

[51.] Вода – ЛМКП "Львівводоканал", ціна: 0.03637 грн/л. Онлайн ресурс: https://vodokanal.lviv.ua

[52.] Електроенергія – Тариф 8.51 грн/кВт·год згідно з цінами комерційного постачання в Україні на 2024 рік.. Онлайн ресурс:

https://www.oe.if.ua