

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок
та косметичних засобів**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту ННІХТ
Оксана КОЧУБЕЙ-
ЛИТВИНЕНКО
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«__» червня 2025 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри ТЖХТ
Тамара НОСЕНКО
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«__» червня 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Хімічна технологія
на тему: Удосконалення технології виробництва твіну 80

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ХТ-4-14

Зеленська Оксана Владиславівна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)


(підпис)

Керівник РОМАНОВА Олесья Олександрівна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)


Консультанти Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент Віра ІЩЕНКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач(ка) _____
(підпис) 

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Зеленська Оксана Владиславівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології виробництва твіну 80

керівник роботи РОМАНОВА Олеся Олександрівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “07”квітня 2025 року
№ 212-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 03.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи потужність виробництва 200 кг/добу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, технологічна частина, техніко-економічне обґрунтування, організація та контроль якості продукції, екологічна безпека та охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 3. Креслення апарату (загальний вигляд), формат аркушу А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В., доцент, к.т.н.	20.05.2025	28.05.2025

7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	05.05.2025	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	06.05.2025-11.05.2025	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12.05.2025-25.05.2025	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	26.05.2025-27.05.2025	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	28.05.2025-29.05.2025	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	30.05.2025-31.05.2025	
7	ВИСНОВКИ	01.06.2025-02.06.2025	
8	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15.05.2025-25.05.2025	
9	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	12.05.2025-18.05.2025	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	19.05.2025-25.05.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД АПАРАТУ	20.05.2025-28.05.2025	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	03.06.2025-10.06.2025	

Здобувач _____
(підпис)

Оксана Зеленська
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олеся РОМАНОВА
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Зеленська О.В. Удосконалення технології виробництва твіну 80

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 70 С., 9 РИС., 13 ТАБЛ., 38 ДЖЕРЕЛ.

Проаналізовано сировинну базу. Твін 80 застосовують у виробництві продуктів харчування в якості емульгатора і стабілізатора. Встановлено, що полісорбат 80 має широку галузь застосування в харчовій, косметичній і фармацевтичній промисловості.

Розроблено принципову технологічну і апаратурно-технологічну схеми виробництва твіну 80.

Розраховано матеріальний баланс виробництва рідкого полісорбату 80. Визначена рентабельність виробництва вказує на його економічну доцільність.

Було здійснено розрахунки теплового балансу та реактора з дволопатевою мішалкою.

У кваліфікаційній роботі наведено вимоги до охорони навколишнього середовища, охорони праці, а також вимоги до оцінки якості продукту.

Підібране обладнання для виробництва полісорбату 80.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОЛІСОРБАТ 80, Е 433, ТВІН 80, ХАРЧОВА ДОБАВКА, ТЕХНОЛОГІЯ, СОРБІН, ОЛЕЇНОВА КИСЛОТА, ЕТОКСИД КАЛІЮ, ЕМУЛЬГАТОР.

ABSTRACT

Zelenska O. V. Improvement of Tween 80 production technology

Explanatory note: 70 P., 9 FIG., 13 TABLES, 38 SOURCES.

The raw material base was analyzed. Tween 80 is used in the production of food products as an emulsifier and stabilizer. It was established that polysorbate 80 has a wide range of applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries.

The basic technological and instrumental and technological schemes for the production of Tween 80 were developed.

The material balance of the production of liquid polysorbate 80 was calculated. The profitability of production was determined, indicating its economic feasibility.

Calculations of the heat balance and a reactor with a two-blade mixer were made.

The qualification work provides requirements for environmental protection, labor protection, as well as requirements for assessing product quality.

Equipment for the production of polysorbate 80 was selected.

KEYWORDS: POLYSORBATE 80, E 433, TWEEN 80, FOOD ADDITIVE, TECHNOLOGY, SORBIN, OLEIC ACID, POTASSIUM ETHOXIDE, EMULSIFIER.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО–ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..	10
1.1 Загальна характеристика емульгаторів.....	10
1.2 Хімічна природа та класифікація полісорбатів	10
1.3 Основні властивості полісорбату 80.....	12
1.4 Сфери застосування полісорбату 80.....	13
1.5 Основні властивості полісорбату 80.....	13
1.6 Сфери застосування полісорбату 80.....	14
1.7 Токсикологічні аспекти	15
1.8 Перспективи досліджень і новітні розробки	16
1.9 Механізм дії полісорбату 80 як емульгатора.....	16
1.10 Порівняння з іншими полісорбатами.....	16
1.11 Стандартизація та нормативне регулювання.....	17
1.12 Виробництво полісорбату 80: сучасні підходи.....	17
1.13 Стан сировинної бази для виробництва полісорбату 80.....	18
1.14 Альтернативи полісорбату 80 та екологічні виклики	19
1.15 Характеристика сировини	20
Висновок до розділу 1	26
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	27
2.1 Технологія отримання полісорбату 80	27
2.2. Опис принципово-технологічної схеми.....	29
2.3. Розрахунок матеріального балансу.....	32
2.4. Розрахунок теплового балансу	38
2.5. Підбір основного технологічного обладнання.....	39
2.6. Розрахунок реактора з дволопатевою мішалкою.....	46
2.7. Опис апаратурно-технологічної схеми.....	49

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>		
Власник документа НУХТ	<i>Розробник документа</i> Зеленська О.В.	Назва, додаткова назва ЗМІСТ	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.006.КР.ПЗ</i>		
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ца

Висновок до розділу 2.....	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	54
3.1. Розрахунок економічної ефективності	54
Висновок до розділу 3.....	57
РОЗДІЛ ІV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКТУ	58
4.1. Система забезпечення та контролю якості продукції.....	58
4.2. Основні технічні характеристики полісорбату 80	59
4.3. Методи контролю якості твіну 80	59
Висновки до розділу 4	60
РОЗДІЛ Vі ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	61
5.1. Охорона праці.....	61
5.2. Пожежна безпека.....	62
5.3. Екологічна безпека підприємства.....	63
5.4. Законодавче регулювання та оцінка впливу на довкілля	64
Висновки до розділу 5	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ВСТУП

У сучасній харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості особлива увага приділяється допоміжним речовинам, які сприяють стабільності, ефективності та безпечності готових продуктів. Серед таких речовин важливе місце займають поверхнево-активні речовини (ПАР), зокрема емульгатори. Полісорбат 80 - це важлива хімічна сполука, що є естером жирної кислоти і сорбіту. Харчова добавка E433 виробляється з поліетоксильованих сорбіту та олеїнової кислоти. Додатково виступає стабілізатором піни (може бути як піноутворювачем, так і піногасником) та диспергуючим агентом.

Хімічна формула даної харчової добавки - $C_{64}H_{124}O_{26}$. Полісорбат 80, або твін 80 має номер у CAS-реєстрі: 9005–65–6.

Полісорбат 80 застосовується в широкому спектрі галузей: у харчовій промисловості — як харчова добавка з кодом E433, у фармації — як допоміжна речовина в ін'єкційних розчинах, а також у косметології — як компонент кремів, лосьйонів та інших засобів догляду за шкірою. Його універсальність зумовлена високою хімічною стабільністю, низькою токсичністю та хорошою сумісністю з іншими інгредієнтами [1, 2].

Мета роботи – технологія отримання полісорбату 80.

Об'єкт дослідження – харчова добавка полісорбат 80 E433.

Предмет дослідження - технологія виробництва полісорбату 80

Tween 80 — неіоногенний емульгатор, який використовується для створення стійких емульсій, розчинення гідрофобних речовин та покращення біодоступності активних компонентів.

Завдання на виконання роботи:

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Зеленська О.В.	Назва, додаткова назва ВСТУП	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.008.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 8/70

1. Пошук та огляд літератури для вивчення фізико – хімічних властивостей полісорбату 80, сфери застосування цієї харчової добавки та вимоги до неї.
2. Розробити принципову технологічну та апаратурно – технологічну схеми виробництва.
3. Провести розрахунок матеріального та теплового балансів виробництва полісорбату 80.
4. Підібрати обладнання для побудови апаратурно-технологічної схеми.
5. Оцінити економічну ефективність виробництва добавки.

Дослідити вплив виробництва захисту навколишнього середовища та заходи з охорони праці.

РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО–ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Загальна характеристика емульгаторів

Емульгатори є класом поверхнево-активних речовин (ПАР), що широко застосовуються в харчовій, фармацевтичній, косметичній та інших галузях промисловості. Основна функція емульгаторів полягає у стабілізації емульсій, тобто систем, у яких одна рідина диспергована в іншій у вигляді дрібних крапель. Це забезпечує необхідну консистенцію, стабільність та інші функціональні властивості продуктів [1].

Серед великої кількості емульгаторів особливе місце займають похідні поліетиленгліколю та жирних кислот, зокрема полісорбати. Вони проявляють високу біосумісність, незначну токсичність та широкий спектр функціональних властивостей, що визначає їх універсальність у застосуванні [2].

1.2 Хімічна природа та класифікація полісорбатів

Полісорбати — це неіонні ПАР, отримані етерифікацією сорбітану з жирними кислотами з подальшою поліетоксилюванням. Тип полісорбату залежить від використовуваної жирної кислоти. Наприклад, полісорбат 20 базується на лауриновій кислоті, а полісорбат 80 — на олеїновій. Полісорбат 80 (Tween 80, E433) — один із найбільш розповсюджених представників цієї групи [3].

Хімічні назви полісорбатів внесені до CAS Registry, що вказані в таблиці 1.1.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Зеленська О.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.010.КР.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> українська	<i>Аркуш</i> 10/70

Таблиця 1.1. Хімічні назви полісорбатів внесені до CAS Registry

№ поз.	Назва	Хімічна назва	Номер у CAS-реєстрі
1.	Полісорбат 20 (твін 20)	Поліоксіетилен 20 сорбітанмонолаурат	9005-64-5
2.	Полісорбат 40 (твін 40)	Поліоксіетилен 20 сорбітанмонопальмітат	9005-66-7
3.	Полісорбат 60 (твін 60)	Поліоксіетилен 20 сорбітанмоностеарат	9005-67-8
4.	Полісорбат 61 (твін 61)	Поліоксіетилен (4) сорбітанмоностеарат	9005-67-8
5.	Полісорбат 65 (твін 65)	Поліоксіетилен 20 сорбітантристеарат	9005-71-4
6.	Полісорбат 80 (твін 80)	Поліоксіетилен 20 сорбітанмоноолеат	9005-65-6

Змінюючи кількість залишків оксиду етилену в молекулі даних речовин, можна змінювати їх гідрофільні та ліпофільні властивості, одержуючи чималу кількість похідних. Емпірична формула, молекулярна маса та агрегатний стан певних полісорбатів за температури 25 °С наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Емпірична формула, молекулярна маса та агрегатний стан певних полісорбатів за температури 25 °С

№ поз.	Назва	Емпірична формула	Молекулярна маса	Агрегатний стан
1	2	3	4	5

Продовження таблиці 1.2. Емпірична формула, молекулярна маса та агрегатний стан певних полісорбатів за температури 25 °С

1	2	3	4	5
1.	Полісорбат 20	$C_{58}H_{114}O$ 26	1128	Рідк ий
2.	Полісорбат 40	$C_{62}H_{122}O$ 26	1284	Рідк ий
3.	Полісорбат 60	$C_{64}H_{126}O$ 26	1312	Рідк ий
4.	Полісорбат 61	$C_{32}H_{62}O_1$ 0	607	Твер дий
5.	Полісорбат 65	$C_{100}H_{194}$ O_{25}	1845	Твер дий
6.	Полісорбат 80	$C_{64}H_{124}O$ 26	1310	Рідк ий

Хімічна формула полісорбату 80: $C_{64}H_{124}O_{26}$. Це складний ефір сорбітану, етоксильованого поліетиленгліколем (приблизно 20 молекул оксиетилену), та олеїнової кислоти. Структурна гнучкість забезпечує його хорошу здатність до утворення стабільних емульсій олія-вода [4].

1.3 Основні властивості полісорбату 80

Полісорбат 80 має відносно низьку міжфазну напругу, що дозволяє ефективно стабілізувати емульсії. Він є гідрофільним (гідрофільно-ліпофільний баланс (HLB) — близько 15), тому здатний емульгувати олії в водній фазі. Крім того, він має гарну розчинність у воді та спиртах, стабільний у широкому діапазоні рН і температур [5].

Полісорбат 80 також виступає як змочувальний агент, диспергатор, солюбілізатор і навіть допоміжна речовина у фармацевтичних препаратах. Його біосумісність і відносна безпечність роблять його незамінним у багатьох галузях [6].

За своїм зовнішнім виглядом та консистенцією полісорбат 80 в чистому вигляді нагадує мед: має жовтогаряче забарвлення та в'язку структуру. Але лише ззовні.

Це синтетична харчова добавка, яку виготовляють в ході ряду складних хімічних реакцій, що протікають при температурі близько 200 °С. Природний продукт навряд чи може бути вироблений за таких умов. То де ж використовується дана харчова добавка [5]?

1.4 Сфери застосування полісорбату 80

Полісорбат 80 широко використовується в таких галузях:

Харчова промисловість: як емульгатор у морозиві, соусах, випічці, де він запобігає розшаруванню компонентів [7];

Фармацевтика: як допоміжна речовина у вакцинах, ін'єкційних препаратах, зокрема для полегшення розчинення гідрофобних активних речовин [8];

Косметика: у кремах, лосьйонах і шампунях, де він забезпечує рівномірний розподіл жиророзчинних компонентів у водній основі [9].

Хімічна формула полісорбату 80: $C_{64}H_{124}O_{26}$. Це складний ефір сорбітану, етоксильованого поліетиленгліколем (приблизно 20 молекул оксиетилену), та олеїнової кислоти. Структурна гнучкість забезпечує його хорошу здатність до утворення стабільних емульсій олія-вода [4].

1.5 Основні властивості полісорбату 80

Полісорбат 80 має відносно низьку міжфазну напругу, що дозволяє ефективно стабілізувати емульсії. Він є гідрофільним (гідрофільно-ліпофільний

баланс (HLB) — близько 15), тому здатний емульгувати олії в водній фазі. Крім того, він має гарну розчинність у воді та спиртах, стабільний у широкому діапазоні рН і температур [5]. Структурна формула твіну 80 показана на рисунку 1.1.

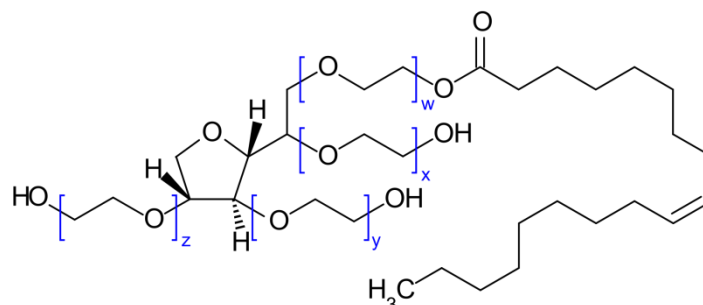


Рисунок 1.1. Структурна формула твіну 80

Полісорбат 80 також виступає як змочувальний агент, диспергатор, солюбілізатор і навіть допоміжна речовина у фармацевтичних препаратах. Його біосумісність і відносна безпечність роблять його незамінним у багатьох галузях [6].

За своїм зовнішнім виглядом та консистенцією полісорбат 80 в чистому вигляді нагадує мед: має жовтогаряче забарвлення та в'язку структуру. Але лише ззовні.

Це синтетична харчова добавка, яку виготовляють в ході ряду складних хімічних реакцій, що протікають при температурі близько 200 °С. Природний продукт навряд чи може бути вироблений за таких умов. То де ж використовується дана харчова добавка [5]?

1.6 Сфери застосування полісорбату 80

Полісорбат 80 широко використовується в таких галузях:

Харчова промисловість: як емульгатор у морозиві, соусах, випічці, де він запобігає розшаруванню компонентів [7];

Фармацевтика: як допоміжна речовина у вакцинах, ін'єкційних препаратах, зокрема для полегшення розчинення гідрофобних активних речовин [8];

Косметика: у кремах, лосьйонах і шампунях, де він забезпечує рівномірний розподіл жиророзчинних компонентів у водній основі [9]. Загальний вигляд твіну 80 наведено на рисунку 1.2.

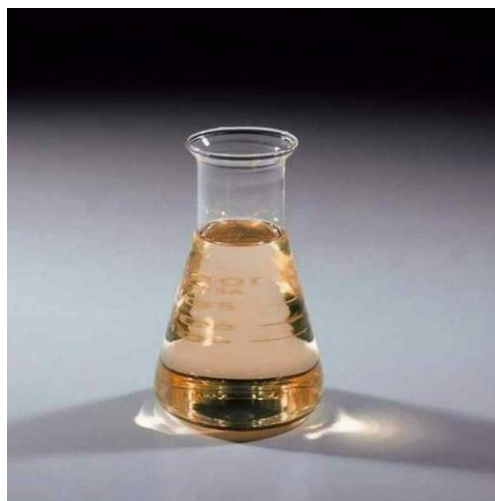


Рисунок 1.2. Загальний вигляд твіну 80

1.7 Токсикологічні аспекти

Попри загальну визнану безпеку, полісорбат 80 вивчається на предмет потенційної токсичності при тривалому використанні у високих дозах. Згідно з даними JECFA (Об'єднаного комітету експертів ФАО/ВООЗ з харчових добавок), допустиме добове споживання (ADI) для полісорбату 80 становить до 25 мг/кг маси тіла [10].

У фармацевтиці описані поодинокі випадки анафілактичних реакцій, що можуть бути пов'язані з присутністю залишків оксиетилену чи інших домішок, отриманих у процесі синтезу. Проте зазвичай ці ефекти виникають у надзвичайно чутливих осіб або при парентеральному введенні [11].

Не так давно на сайті Національної медичної бібліотеки США було оприлюднено дані дослідників, котрі підтверджують той факт, що Е 433 здатне стати причиною хвороби Крона. Так в результатах дослідження нічого більше не мовиться ні про яку «безпечну дозу», оскільки Е 433 має властивість

накопичуватися в організмі. Для цього найкраще уникати споживання різних рафінованих кондитерських виробів, каш та мережі швидкого приготування, які мають у своєму складі велику кількість Е 433 [12].

1.8 Перспективи досліджень і новітні розробки

Сучасні дослідження спрямовані на покращення стабільності, біорозкладаності та екологічності полісорбату 80. Зокрема, розробляються методи очищення продукту від залишкових домішок, а також альтернативи на основі біосировини [13]. Також вивчається можливість модифікації молекули для отримання цільових властивостей у фармацевтичних системах доставки лікарських засобів [14].

1.9 Механізм дії полісорбату 80 як емульгатора

Емульгуюча дія полісорбату 80 базується на здатності знижувати міжфазну напругу між водною та олійною фазами. Завдяки своїй молекулярній структурі, що включає як гідрофільні, так і гідрофобні фрагменти, полісорбат 80 розміщується на межі фаз, орієнтуючи свої полярні групи до водного середовища, а неполярні – до олійного. Це дозволяє стабілізувати дисперговані частинки жиру у воді та запобігати їх агрегації [15].

Дослідження показують, що навіть незначні концентрації полісорбату 80 (0.1–1.0%) здатні значно підвищити термостабільність і гомогенність емульсій. Його присутність у системі також сприяє утворенню дрібніших крапель олії, що впливає на текстуру та вигляд кінцевого продукту [16].

1.10 Порівняння з іншими полісорбатами

Хоча всі полісорбати мають подібну загальну будову, їх функціональні властивості значною мірою залежать від жирної кислоти, що входить до складу. Наприклад, полісорбат 20 (на основі лауринової кислоти) більше підходить для водорозчинних ароматизаторів, тоді як полісорбат 60 (на основі стеаринової кислоти) краще утворює стабільні пінки у кондитерських виробках.

Полісорбат 80, порівняно з ними, має вищу гнучкість у застосуванні завдяки ненасиченій олеїновій кислоті, що забезпечує високу рухливість молекули, кращу змочуваність і розчинність у гідрофільних середовищах [17]. Це пояснює його широке застосування в ін'єкційних фармацевтичних препаратах, де висока біодоступність і мінімальна імуногенність є критично важливими.

1.11 Стандартизація та нормативне регулювання

Полісорбат 80 входить до переліку дозволених харчових добавок у багатьох країнах світу, включаючи ЄС, США, Канаду та Японію. В Європейському Союзі він маркується як E433, а його допустима добова доза регулюється Регламентом (ЄС) №1333/2008. У США полісорбат 80 має статус GRAS (Generally Recognized As Safe) і включений до списку неактивних інгредієнтів FDA [17].

Водночас, різні фармакопеї (наприклад, USP, EP, JP) встановлюють специфікації до чистоти, кислотного та перекисного числа, вмісту оксиетилену тощо. Це необхідно для гарантування безпеки та відтворюваності його властивостей при застосуванні у фармацевтичних препаратах [18].

1.12 Виробництво полісорбату 80: сучасні підходи

Процес виробництва полісорбату 80 включає кілька етапів:

1. Синтез сорбітану: отримується з сорбітолу шляхом дегідратації;
2. Етерифікація: сорбітан реагує з олеїновою кислотою, утворюючи сорбітан моноолеат;
3. Поліетоксилювання: додавання оксиетилену (близько 20 молей) у присутності каталізаторів;
4. Очищення: видалення залишкових домішок, таких як неповністю поліетоксилювані фракції або залишки реагентів.

Вибір сировини, чистота компонентів і контроль умов реакції мають вирішальне значення для забезпечення стабільної якості продукту. Особливо важливо забезпечити відсутність канцерогенних домішок, таких як 1,4-діоксан, що може утворюватися як побічний продукт поліетоксилювання [19].

1.13 Стан сировинної бази для виробництва полісорбату 80

Полісорбат 80 є складним ефіром сорбітану, олеїнової кислоти та поліетиленгліколю. Виробництво цієї речовини вимагає наявності якісної сировини, кожен компонент якої має власні особливості отримання, залежить від доступності на ринку та екологічно-економічних факторів.

Сорбітол і сорбітан

Основою для синтезу сорбітану є сорбітол – багатоатомний спирт, який отримують шляхом каталітичного гідрування глюкози, переважно з кукурудзяного або картопляного крохмалю. Україна, як аграрна держава, володіє значним потенціалом у виробництві крохмалевмісної сировини, зокрема кукурудзи та картоплі, що дозволяє організувати виробництво сорбітолу на внутрішньому ринку.

Сорбітан утворюється внаслідок дегідратації сорбітолу. Цей процес потребує точного контролю температури та умов реакції, аби запобігти утворенню побічних продуктів (іzosорбіду, сорбітану ди- та триестерів) [16].

Олеїнова кислота

Джерелом олеїнової кислоти є рослинні жири, зокрема соняшникова, соєва, ріпакова та пальмова олія. Найвищу концентрацію олеїнової кислоти мають високоолеїнові сорти соняшника, які вирощуються в Україні. Це дає змогу локально отримувати сировину для синтезу полісорбату 80, що мінімізує залежність від імпортованих жирних кислот [20].

Очищена олеїнова кислота отримується з рослинних масел шляхом гідролізу та фракційної дистиляції. Залежно від сфери застосування (харчова, фармацевтична, косметична), ступінь очищення варіюється, що впливає на вартість та придатність кінцевого продукту [21].

Етиленоксид

Етиленоксид – токсична, вибухонебезпечна речовина, яка використовується для поліетоксилювання сорбітану. Його виробництво потребує складного обладнання та суворих заходів безпеки, тому в Україні він не виробляється у великих обсягах, а здебільшого імпортується з країн ЄС або Китаю. Це створює залежність виробництва полісорбату 80 від зовнішніх поставок [22].

З огляду на токсикологічні властивості етиленоксиду, особливу увагу приділяють залишковому вмісту побічних продуктів, таких як 1,4-діоксан. Для фармацевтичних та косметичних застосувань необхідна глибока очистка продукту, що також впливає на вибір сировини та обладнання [23].

Оцінка доступності

У цілому, сировинна база для виробництва полісорбату 80 в Україні оцінюється як потенційно достатня, особливо завдяки наявності локального виробництва крохмалю та олії. Основним бар'єром є залежність від імпорту етиленоксиду та високочистих жирних кислот для фармацевтичного використання. Умовою успішного розвитку виробництва полісорбату 80 є кооперація аграрного та хімічного секторів, залучення інвестицій у технології глибокої очистки та контроль якості на всіх етапах виробничого ланцюга.

1.14 Альтернативи полісорбату 80 та екологічні виклики

Хоча полісорбат 80 вважається безпечним і ефективним, зростає інтерес до створення біорозкладаних та екологічно безпечних альтернатив. Наприклад, деякі компанії розробляють ПАР на основі сахарозних ефірів жирних кислот або лецитину, які демонструють схожі властивості емульгаторів, але швидше розщеплюються в навколишньому середовищі [25].

Також розробляються технології виробництва полісорбату з використанням біосировини, що дозволяє зменшити вуглецевий слід і підвищити стійкість до змін клімату.

Наприклад, заміна нафтохімічних поліетиленгліколів на ті, що отримані ферментативним шляхом, — перспективний напрямок зеленої хімії [26].

1.15 Характеристика сировини

Виробництво полісорбату 80 (Tween 80, E433) базується на використанні трьох основних видів сировини: сорбітану, олеїнової кислоти та етиленоксиду. Кожен з компонентів повинен відповідати суворим стандартам якості, особливо у випадках застосування готового продукту у фармацевтиці, косметичі та харчовій промисловості.

1. Сорбітол

Хімічна назва: гексагідрокси-гексан ($C_6H_{14}O_6$)

Молекулярна маса: 182,17 г/моль

Фізико-хімічні властивості:

- Зовнішній вигляд: безбарвні кристали або білий кристалічний порошок

- Температура плавлення: 95–100 °С (для безводної форми)

- Температура розкладання: >150 °С

- Розчинність: добре розчиняється у воді, погано – в органічних розчинниках

- Смак: солодкий

- Походження та джерела: Сорбітол промислово отримують шляхом каталітичного гідрування глюкози, яку добувають із крохмалю. Основними джерелами крохмалю є кукурудза, картопля, пшениця. Найбільші виробники сорбітолу – Китай, Франція, США, Індія.

- Вимоги до якості (відповідно до Фармакопеї ЄС, USP):

- Вміст сорбітолу: не менше 98%

- Вміст редукуючих цукрів: не більше 0,3%

- Втрати при сушінні: не більше 1%

- Залишок при випаленні: не більше 0,1%

- Метали важкі: не більше 10 ppm

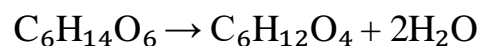


Рисунок 1.3. Зовнішній вигляд сорбітолу

Хімічні властивості:

- Багатоатомний спирт (шестичленний)
- Вступає в реакції дегідратації, окиснення, етерифікації
- Утворює гетероциклічні структури при нагріванні
- Реакція дегідратації сорбітолу: під дією температури 180–220 °С

сорбітол втрачає воду з утворенням сорбітану:



2. Сорбітан

Хімічна назва: 1,4-сорбітан ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_4$)

Молекулярна маса: 164,16 г/моль

Фізико-хімічні властивості:

- Зовнішній вигляд: в'язка рідина або білий напівтвердий воскоподібний матеріал

- Температура плавлення: близько 45–50 °С

- Розчинність: розчиняється у воді, спиртах; не розчиняється в неорганічних кислотах

- Гігроскопічність: висока

- Походження та джерела:

-

- Отримується дегідратацією сорбітолу при температурі 180–220 °С у присутності каталізаторів. Продукт має тенденцію до утворення ізомерів, тому потребує додаткової очистки.
- Вимоги до якості:
 - Вміст сорбітану: $\geq 95\%$
 - Кислотне число: ≤ 2
 - Колір: безбарвний або злегка жовтуватий
 - Зольність: $\leq 0,05\%$
 - Волога: $\leq 1,0\%$



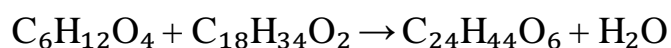
Рисунок 1.4. Зовнішній вигляд сорбітану

Хімічні властивості:

- Амфифільна молекула: містить гідроксильні групи та гідрофобну частину

- Вступає в реакцію естерифікації з жирними кислотами

Реакція естерифікації з олеїною кислотою:



(сорбітан моноолеат + вода)

Це ключовий проміжний продукт перед поліетоксильованням.

3. Олеїнова кислота

Хімічна назва: цис-9-октадеценова кислота ($C_{18}H_{34}O_2$)

Молекулярна маса: 282,46 г/моль

Фізико-хімічні властивості:

- Зовнішній вигляд: безбарвна або світло-жовта масляниста рідина
- Температура плавлення: 13–14 °С
- Температура кипіння: 360 °С
- Щільність (20 °С): 0,89 г/см³
- Розчинність: розчиняється в спиртах, етері; практично не розчиняється у воді
- Походження та джерела:
 - Олеїнова кислота отримується з рослинних олій – соняшnikової, оливкової, пальмової, ріпакової. Високоолеїнова соняшnikова олія (з вмістом >80% олеїнової кислоти) є доступною сировиною в Україні.
- Вимоги до якості (харчова та фармацевтична категорії):
 - Кислотне число: 195–205 мг КОН/г
 - Йодне число: 85–100
 - Вміст вільної кислоти: ≤ 0,5%
 - Вміст олеїнової кислоти: ≥ 70–85%
 - Вміст домішок: мінімальний (іноді вимагається ≥99%)



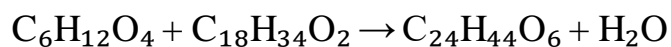
Рисунок 1.5. Зовнішній вигляд олеїнової кислоти

Хімічні властивості:

- Ненасичена жирна кислота
 - Може вступати в реакції гідрування, епоксидування, естерифікації

- Карбоксильна група (-COOH) активно реагує з спиртами

Реакція з сорбітаном – етерифікація:



4. Етиленоксид

Хімічна формула: C_2H_4O

Молекулярна маса: 44,05 г/моль

Фізико-хімічні властивості:

- Стан: безбарвний газ або рідина під тиском
- Температура кипіння: 10,7 °С
- Температура плавлення: -111 °С
- Щільність: 0,88 г/см³ (рідина)
- Вибухонебезпечність: висока
- Токсичність: висока, канцерогенний
- Походження та джерела:
- Етиленоксид отримують шляхом каталітичного окиснення етилену

срібними каталізаторами при температурі 200–300 °С. Через небезпеку у виробництві зберігається на великих підприємствах хімічної промисловості.

Постачається у спеціальних герметичних контейнерах.

- Вимоги до якості:
 - Вміст етиленоксиду: $\geq 99,5\%$
 - Вміст діоксину та інших домішок: не більше 10 ppm
 - Залишковий вміст у готовому продукті: відповідно до норм FDA/EMA

– <1 ppm

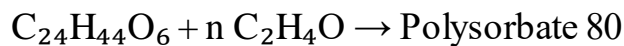


Рисунок 1.6. Зовнішній вигляд етилен оксиду

Хімічні властивості:

- етероциклічний ефір (епоксид)
- Високоактивний щодо нуклеофільного відкриття циклу
- Вступає в реакції поліетоксилювання

Реакція поліетоксилування сорбітан моноолеату:



($n \approx 20$ моль ЕО на 1 моль сорбітан моноолеату)

Це реакція приєднання етиленоксиду до гідроксильних груп з утворенням поліетиленглікольних ланцюгів $(-CH_2CH_2O-)_n$.

Висновок до розділу 1

1. Аналіз науково-технічної літератури засвідчив, що полісорбат 80 є високоефективною та універсальною речовиною, яка широко застосовується в різних галузях — від харчової промисловості до медицини. Його властивості як емульгатора, змочувача та солюбілізатора забезпечують стабільність та якість багатьох продуктів. Попри деякі токсикологічні застереження, за умов дотримання норм безпеки та стандартів якості, полісорбат 80 залишається незамінною складовою сучасного виробництва. Подальші дослідження зосереджуються на вдосконаленні його хімічної чистоти, екологічності та адаптації до нових сфер застосування.

2. Наведено сировинну базу для виготовлення Твіну 80, дози та небезпечність сировини. А також зазначені фізико-хімічні властивості для неї.

РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологія отримання полісорбату 80

Технологічний процес виробництва полісорбату 80 включає серію операцій, які забезпечують отримання продукту високої якості.

Кожен етап включає фізичні, фізико-хімічні та хімічні реакції, спрямовані на отримання необхідних хімічних сполук, водночас із ефективним видаленням побічних продуктів. Основними етапами технологічного процесу є: підготовка сировини, дегідратація сорбітолу, естерифікація сорбітану, поліетоксилювання, стабілізація, фільтрація та пакування готового продукту.

Технологія виробництва полісорбату 80 включає серію етапів, від підготовки сировини до пакування готового продукту.

Основні процеси виробництва

1. Зважування реагентів

Точне дозування сировини для виробництва полісорбату дуже важливе оскільки від точних вимірювань буде залежати правильність співвідношення компонентів. На вагах зважується сорбітол, олеїнова кислота, етоксид калію.

2. Дегідратація сорбітолу

Процес дегідратації сорбітолу проводиться у реакторі при температурі 180–220 °С під вакуумом для запобігання побічним реакціям. В результаті реакції виділяється вода, яка безперервно видаляється з реакційної маси для зсуву рівноваги в сторону утворення сорбітану. Процес триває близько 4–5 годин. Отриманий сорбітан піддається подальшій естерифікації без охолодження.

3. Естерифікація сорбітану

На цьому етапі проводиться естерифікація сорбітану олеїновою кислотою в присутності фосфорної кислоти при температурі 180–215 °С протягом 6–8 годин. Процес здійснюється реакторі із рубашкою обігріву для підтримання

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Зеленська О.В.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.026.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 26/70

стабільної температури та мішалкою для інтенсивного перемішування.

4. Оксидилювання сорбітан моноолеату

Після естерифікації сорбітан моноолеат піддається оксидилюванню етилен оксидом у присутності каталізатора KOEt. Процес проходить у спеціалізованому автоклаві, обладнаному системою обігріву, дозатором для подачі етилен оксиду, запобіжними клапанами і вакуумною системою. Реакція відбувається при температурі 130 °С та автогенному тиску 0,2–0,4 МПа протягом 8–12 годин. Автоклав забезпечує рівномірне перемішування для оптимального протікання реакції і безпечно керування подачею оксиду.

5. Охолодження продукту

По завершенні оксидилювання масу охолоджують до 20–25 °С за допомогою охолоджуючої рубашки автоклава. Охолодження проводиться поступово для уникнення термічних шоків і забезпечення безпечного подальшого оброблення.

6. Випаровування

Для видалення залишків води, етилен оксиду, 1,4-діоксану та гліцерину продукт піддають вакуумному випаровуванню при температурі 110 °С та тиску 10 кПа. Застосовується плівковий випарник, оснащений вакуумною насосною системою та конденсатором для збору летких фракцій.

7. Охолодження

Перед фільтрацією продукт охолоджують до 70 °С у пластинчастому теплообміннику для досягнення оптимальної в'язкості й температури фільтрації.

10. Фільтрація

Фільтрація проводиться для видалення залишкових твердих домішок, солей калію та продуктів побічних реакцій. Використовується фільтр-прес із хімічно стійких матеріалів. Процес відбувається при температурі 70 °С протягом 1-2 годин.

11. Охолодження

Очищений полісорбат 80 надходить до збірника-охолоджувача, де температура підтримується на рівні 20–25 °С.

12. Пакування

Після охолодження кінцевий продукт, полісорбат 80, транспортується на лінію пакування.

Пакування проводиться за допомогою автоматичних фасувальних машин, що забезпечує зручність процесу. Для тривалого зберігання використовуються методи герметичної запайки тари та обов'язкове маркування продукції із зазначенням партії, дати виробництва та умов зберігання.

2.2. Опис принципово-технологічної схеми

Принципово-технологічна схема виробництва полісорбату 80 наведена на рисунку 2.1.

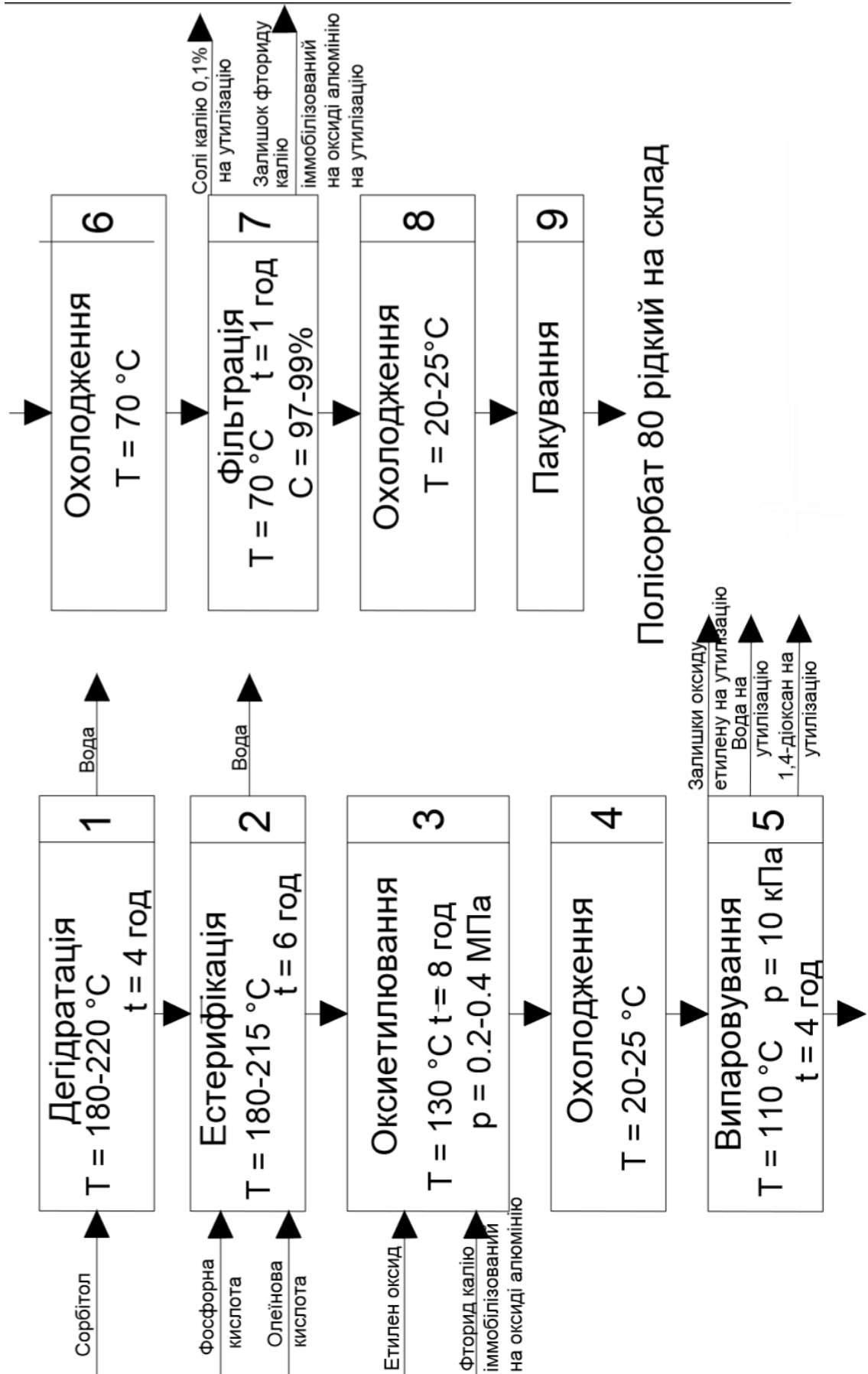


Рис. 2.1. Принципово-технологічна схема виробництва твіну 80

Перша стадія технологічного процесу отримання твіну 80 полягає в дегідратації сорбітолу. Утворюється сорбітан, $T=180-220\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Друга стадія естерифікації сорбітану, олеїнової кислоти, фосфорної кислоти. В результаті хімічних перетворень утворюється сорбітан моноолеат, $T=180-215\text{ }^{\circ}\text{C}$, час процесу складає 6 год.

Третя стадія - оксиетилюванні сорбітан моноолеату у середовищі етилен оксиду в присутності каталізатора фториду калію іммобілізованого на оксиді алюмінію. Процес відбувається при $T=130^{\circ}\text{C}$, тиску $p = 0,2-0,4\text{ МПа}$, протягом 8 год.

На четвертій стадії отримання полісорбату 80, продукт отриманий на стадії оксиетилювання, піддається охолодженню до $T=20-25^{\circ}\text{C}$.

П'ятою стадією є випаровування при температурі $T=110^{\circ}$ і тиску $p=10\text{кПа}$ протягом чотирьох годин. На цій стадії ми випарюємо залишки розчинника (оксиду етилену), 1,4-діоксан (продукт, що утворився при змішуванні сорбітан моноолеату і етилен оксиду), воду (утворилася під час реакції нейтралізації).

Шоста стадія - це охолодження. Вона потрібна нам для того, щоб не відбулись заві втрати тепла і утворення конденсату: гарячий фільтрат не можна подавати у апарат для фільтрування, щоб запобігти зайвому пароутворенню та конденсації розчину, а також запобігти зайвим тепловтратам.

Сьома стадія – це фільтрування. На цій стадії проводиться вилучення домішок, котрі утворились при попередніх процесах, а саме: фтори калію іммобілізований на оксиді алюмінію та солі калію.

Восьмою стадією є – охолодження кінцевого продукту до оптимальної температури для пакування.

Дев'ята стадія – пакування. Пакуємо готовий продукт в ПЕТ-пляшки та відправляємо на склад.

2.3. Розрахунок матеріального балансу

Даний розрахунок проводиться на 200 кг/добу готового Твіну-80.

Для його виробництва на 1-ій стадії у реактор подається: сорбітан, олеїнова кислота, фосфорна кислота 85%.

1. Естерифікація

На цій стадії відбувається естерифікація сорбітану олеїноювою кислотою

Співвідношення сорбітану до олеїнової кислоти 1:1. А – сорбітану до фосфорної кислоти: 1:100. Всі розрахунки без урахування стадії зважування.

$$m(C_6H_{12}O_5) = 24 \text{ кг}$$

$$M(C_6H_{12}O_5) = 164 \text{ г/моль}$$

$$n(C_6H_{12}O_5) = 0,14634 \text{ моль}$$

$$n(C_{18}H_{34}O_2) = n(C_6H_{12}O_5) = 0,14634 \text{ моль}$$

$$M(C_{18}H_{34}O_2) = 282 \text{ г/моль}$$

$$m(C_{18}H_{34}O_2) = 282 \cdot 0,14634 = 41,3 \text{ кг}$$

$$n(H_3PO_4) = 0,0014634 \text{ моль}$$

$$m(H_3PO_4) = 0,0014634 \cdot 98 = 0,15 \text{ кг}$$

Матеріальний баланс стадії естерифікації наведений в табл. 3.1.

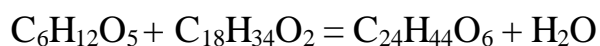
Таблиця 2.1. Матеріальний баланс стадії етерифікації

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4

Продовження таблиці 2.1. Матеріальний баланс стадії етерифікації

Сорбітан	24	Сорбітан моно олеат (суміш)	62,79
Олеїнова кислота	41,3	Вода	2,66
Фосфорна кислота 85%	0,15		
		Втрати	0,005
Всього	65,45	Всього	65,45

Реакція для розрахунків:



1. Розраховуємо молярні маси учасників реакції

$$aA + bB = cC + dD$$

$$aM_A \quad bM_B \quad cM_C \quad dM_D$$

$$aM_A = 1 * 164 \text{ кг/кмоль} = 164 \text{ кг/кмоль}$$

$$bM_B = 1 * 282 \text{ кг/кмоль} = 282 \text{ кг/кмоль}$$

$$cM_C = 1 * 150 \text{ кг/кмоль} = 428 \text{ кг/кмоль}$$

$$dM_D = 1 * 18 \text{ кг/кмоль} = 18 \text{ кг/кмоль}$$

Проводимо перевірку результатів

$$164 \text{ кг/кмоль} + 282 \text{ кг/кмоль} = 428 \text{ кг/кмоль} + 18 \text{ кг/кмоль}$$

$$446 \text{ кг/кмоль} = 446 \text{ кг/кмоль}$$

2. Оксидування

У реактор подається: оксид етилену та KF/Al_2O_3 .

$$M(C_{24}H_{44}O_6) = 428 \text{ г/моль};$$

$$M(C_2H_4O) = 44 \text{ г/моль};$$

$$M(KF/Al_2O_3) = 160 \text{ г/моль};$$

$$n(C_{24}H_{44}O_6) = 0,1656 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}) = 2,91 \text{ моль};$$

$$n(\text{KF}/\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,0765 \text{ моль}.$$

Тепер знайдемо маси вихідних реагентів:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}) = 44 \cdot 2,91 = 128,16 \text{ кг};$$

$$m(\text{KF}/\text{Al}_2\text{O}_3) = 160 \cdot 0,0765 = 12,24 \text{ кг}.$$

Враховуємо кількість молей, що ідуть на утворення цільових і побічних продуктів і розраховуємо маси отриманих продуктів реакції. Втрати на стадії складають приблизно 1%. Матеріальний баланс стадії оксиетилювання наведений в табл. 2.2:

Таблиця 2.2. Матеріальний баланс стадії оксиетилювання

Матеріальний баланс стадії оксиетилювання

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Сорбітан моноолеат (суміш)	65,12	Реакційна суміш	205,52
Оксид етилену	128,16		
KF/Al ₂ O ₃	12,24		
		Втрати	0,005
Всього	205,52	Всього	205,52

Матеріальний баланс стадії охолодження наведений в табл. 2.3:

Таблиця 2.3. Матеріальний баланс стадії охолодження

Прихід		Витрати	
Маса, кг	Речовина	Маса, кг	Речовина
1	2	3	4

Продовження таблиці 2.3. Матеріальний баланс стадії охолодження

1	2	3	4
Реакційна суміш полісорбату і домішок	205,52	Реакційна суміш полісорбату і домішок	204,5
		Втрати	1,02
Всього	205,52	Всього	205,52

4. Випарювання

На випарювання іде вода. Втрати складають 1%. Матеріальний баланс стадії випарювання наведений в табл. 2.4:

Таблиця 2.4. Матеріальний баланс стадії випарювання

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Реакційна суміш полісорбату і домішок	204,5	Осушений полісорбат з домішками	204,21
		Пари летких речовин	0,28
		Втрати	0,01
Всього	204,5	Всього	204,5

5. Охолодження

На стадії охолодження втрати будуть складати 1%. Матеріальний баланс стадії охолодження наведений у табл. 2.5:

Таблиця 2.5. Матеріальний баланс стадії охолодження

Матеріальний баланс стадії охолодження

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Осушений полісорбат з домішками	204,21	Полісорбат 80	202,17
		Втрати	2,04
Всього	204,21	Всього	204,21

6. Фільтрування

На стадії фільтрування втрати будуть складати 0,5%. Матеріальний баланс стадії фільтрування наведений у табл. 2.6:

Таблиця 2.6. Матеріальний баланс стадії фільтрування

Матеріальний баланс стадії фільтрування

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Осушений полісорбат з домішками	202,17	Полісорбат 80	201,95
		Тверді домішки	0,22
		Втрати	0,005
Всього	202,17	Всього	202,4

7. Охолодження

Матеріальний баланс стадії охолодження наведений у табл. 2.7:

Таблиця 2.7. Матеріальний баланс стадії охолодження

Матеріальний баланс стадії охолодження

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Полісорбат 80	201,95	Полісорбат 80	200,00
		Втрати	1,95
Всього	201,95	Всього	201,95

Матеріальний баланс виробництва полісорбату 80 наведений у табл. 2.8:

Таблиця 2.8. Матеріальний баланс виробництва полісорбату

Матеріальний баланс виробництва полісорбату 80

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Сорбітан	24	Вода	2,66
Олеїнова кислота	41,3	Пари летких речовин	0,28
Фосфорна кислота 85%	0,15	Тверді домішки	0,22
Оксид етилену	128,16	Полісорбат 80	200,00
KF/Al ₂ O ₃	12,24		
		Втрати	2,69
Всього	205,85	Всього	205,85

2.4. Розрахунок теплового балансу

Вихідні дані:

Продуктивність: $(G_{\text{пр}}) = 0,002315 \text{ кг/с};$

Початкова температура розчину: $t_{\text{п}} = 130 \text{ }^\circ\text{C};$

Кінцева температура розчину: $t_{\text{к}} = 20 \text{ }^\circ\text{C};$

Початкова температура води: $t_{\text{п.в.}} = 5 \text{ }^\circ\text{C};$

Кінцева температура води: $t_{\text{к.в.}} = 25 \text{ }^\circ\text{C};$

Швидкість руху розчину: $w = 0,5 \text{ м/с.}$

При середній температурі розчину:

$$t_{\text{ср.1}} = 0,5 \cdot (t_{\text{п}} + t_{\text{к}}) = 0,5 \cdot (130 + 20) = 75^\circ\text{C}$$

Визначаємо стандартні дані для розчину:

масова теплоємність: $c = 2137,5 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)};$

густина розчину: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3;$

коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda = 0,155 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)};$$

коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\mu = 0,00018 \text{ Па}\cdot\text{с.}$$

При середній температурі води:

$$t_{\text{ср.2}} = 0,5 \cdot (t_{\text{п.в.}} + t_{\text{к.в.}}) = 0,5 \cdot (5 + 25) = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Визначаємо стандартні дані для розчину:

масова теплоємність: $c = 4180 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)};$

густина розчину: $\rho = 997 \text{ кг/м}^3;$

коефіцієнт теплопровідності: $\lambda = 0,606 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

коефіцієнт динамічної в'язкості: $\mu = 0,00089 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

1) без втрат в навколишнє середовище:

$$Q_1 = G_{\text{пр}} \cdot c \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) = 0,002315 \cdot 2137,5 \cdot (130-20) = 544,31 \text{ Вт.}$$

2) З втратами у середовище (1%):

$$Q_2 = Q_1 \cdot 0,01 + Q_1 = 544,31 + 5,44 = 549,75 \text{ Вт.}$$

Об'ємна витрата теплоносія:

$$V = G_{\text{пр}}/\rho = 0,002315 / 997 = 0,000002322 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2.5. Підбір основного технологічного обладнання

Підбір основного технологічного обладнання здійснюється на підставі розрахованого матеріального балансу та запропанованої апаратурно-технологічної схеми виробництва полісорбату 80. Підбір основного технологічного обладнання наведений в таблиці 2.9.

Підбір основного обладнання

1. Лопатева мішалка

Лопатева мішалка призначена для інтенсивного перемішування рідких і пастоподібних продуктів у ємностях або реакторах. Основний конструктивний елемент — вал із лопатями, які під час обертання створюють сильні потоки у всьому об'ємі. Залежно від завдань та властивостей середовища використовують прямі, нахилені чи криволінійні лопаті.

Переваги:

- Простота конструкції та обслуговування.
- Ефективне перемішування при низьких і середніх в'язкостях.
- Висока швидкість перемішування, хороше тепло- і масообмінне середовище.

Недоліки:

- Обмежена ефективність при високов'язких речовинах.
- Можливість утворення застійних зон при неправильному розташуванні.

2. Пластинчастий теплообмінник

Пластинчастий теплообмінник складається з серії тонких гофрованих пластин, що утворюють два окремі потоки — для гарячого та холодного теплоносія. Завдяки великій площі контакту й турбулентному режиму течії досягається високий коефіцієнт теплопередачі при компактних габаритах.

Переваги:

- Висока ефективність теплопередачі.
- Компактність та невелика маса.
- Простота очищення при розбірній конструкції.

Недоліки:

- Обмеження по тиску та температурі (у порівнянні з трубчастими теплообмінниками).
- Чутливість до забруднення та засмічення.

3. Відцентровий насос

Відцентровий насос використовують для транспортування рідин із низькою в'язкістю. Робота базується на дії відцентрової сили: рідина, потрапляючи в центр обертової крильчатки, викидається до периферії, створюючи напір.

Переваги:

- Стабільна подача рідини при невеликій пульсації.
- Надійність і довгий строк служби.
- Можливість роботи з агресивними середовищами (з відповідним матеріалом корпусу).

Недоліки:

- Зниження ефективності при перекачуванні в'язких рідин.
- Неможливість самовсмоктування без попереднього заповнення.

4. Гвинтовий насос

Гвинтові насоси застосовують для подачі густих, в'язких або пастоподібних середовищ. Робочий процес полягає у поступовому переміщенні речовини в герметичних камерах, які формуються між гвинтом і статором.

Переваги:

- Можливість транспортування високов'язких і неоднорідних середовищ.
- Рівномірна безпульсаційна подача.
- Висока всмоктувальна здатність.

Недоліки:

- Вища енергоємність порівняно з відцентровими насосами.
Більша чутливість до абразивних часток (зношування).

5. Автоклав

Автоклав — це герметичний апарат для проведення реакцій або обробки речовин під підвищеним тиском і температурою. Як правило, оснащений сорочкою нагрівання, запобіжною арматурою, манометром, термометром. Застосовується в реакційних процесах, де потрібні герметичність і температурна стабільність.

Переваги:

- Можливість роботи при високих температурах і тиску.
- Безпечне проведення реакцій із леткими чи небезпечними

компонентами.

- Добре ізольований, що знижує тепловтрати.

Недоліки:

- Висока вартість та складність конструкції.
- Необхідність ретельного контролю безпеки (вибухозахищеність).

6. Нутч-фільтри

Нутч-фільтри застосовують для поділу суспензій на тверду та рідку фази шляхом фільтрування. За конструкцією та режимом роботи вони поділяються на два основних типи:

- відкриті, що працюють під дією розрідження;
- закриті (друк-фільтри) — функціонують під надлишковим тиском до

0,4 МПа (4 атм).

Відкриті нутч-фільтри відзначаються простою конструкцією, легкістю очищення та експлуатації. Їх легко захистити від корозії шляхом нанесення покриття на внутрішні поверхні. До переваг також належить можливість багаторазового промивання осаду без демонтажу апарата.

Однак основними недоліками відкритих фільтрів є:

- відносно низька швидкість фільтрування;
- великі габаритні розміри, що ускладнює їх використання у

виробництвах з обмеженим простором.

Закриті нутч-фільтри (друк-фільтри) мають значно вищу продуктивність за рахунок підвищеного тиску, що забезпечує кращу швидкість фільтрації. Вони ефективні для розділення суспензій з важкофільтрованими осадами.




Серед недоліків друк-фільтрів варто відзначити:

- обмеження розміру апаратів, що пов'язано з технічними складнощами виготовлення великої фільтрувальної поверхні;
- складніші умови експлуатації та обслуговування через герметичну конструкцію.

Таблиця 2.9. Підбір обладнання

Обладнання	Основні параметри	Зовнішній вигляд
1	2	3

Продовження таблиці 2.9. Підбір обладнання

1	2	3
<p>Лопатева мішалка</p>	<p>Загальний об'єм – 100 л Частота обертання – 150 об/хв. Габаритні розміри – 620 мм * 280 мм * 730 мм</p>	
<p>Нутч-фільтр</p>	<p>Габаритні розміри – 800 мм * 700 мм * 1200 мм</p>	
<p>Пластинчастий теплообмінник</p>	<p>Габаритні розміри – 250 мм * 200 мм * 500 мм</p>	

Продовження таблиці 2.9. Підбір обладнання

1	2	3
Відцентровий насос	Використовується для перекачування рідкого середовища	
Гвинтовий насос	Використовується для перекачування в'язкіших рідин	
Автоклав	Габаритні розміри – 1000 мм * 600 мм * 1500 мм	

2.6. Розрахунок реактора з дволопатевою мішалкою

Враховуючи, що однією з основних технологічних операцій проходять в реакторі, то проводимо технічний розрахунок реактора з дволопатевою мішалкою періодичної дії (рис.2.11) .

Розрахунок ведеться за допомогою літературного джерела [18, 19].

Дано:

$D = 0,4$ м — діаметр реактора;

$H_{\text{реак}} = 0,93$ м — висота реактора;

$H = 0,73$ м – робоча висота реактора

$L = 0,4$ м ;

$c = 0,166$;

$V = 0,1$ м³ — об'єм реактора;

$z = 2$ — кі-ть лопатей;

$\xi_M = 0,85$ м — коефіцієнт гідравлічного опору лопатевої мішалки;

$\delta = 0,03$ м — відстань між корпусом реактора і лопатевою мішалкою;

$h_4 = 0,08$ м — відстань від верхньої корми ємності до рівня речовини;

$\beta_1 = 2$ — коефіцієнт, що враховує перевантаження двигуна в пусковий

момент;

$\beta_2 = 1,2$ — коефіцієнт запасу потужності;

$\eta = 0,095$ — коефіцієнт корисної дії приводу;

$\rho = 0,98$ кг/м³ — щільність перемішуємого середовища;

$n = 2,5$ об/с — частота обертів;

$\mu = 0,1$ Па×с.

Розв'язання :

1) Об'єм апарату: $(3,14 \cdot 0,42 \cdot 0,42/4) \cdot 0,73 = 0,101$ м³

2) Висота речовини в апараті : $H_p = 0,75 \cdot H = 0,75 \cdot 0,93$ мм = 0,7 м;

3) Висота лопатевої мішалки : $h = H_{\text{реак}} - h_2 - \delta = 0,73 - 0,08 - 0,03 = 0,62$ м;

4) Діаметр лопатевої мішалки : $d = D - 2 \cdot \delta = 0,4 - 2 \cdot 0,03 = 0,2$ м;

5) Ширина лопаті : $b = 0,007 \cdot d = 0,007 \cdot 0,2 = 0,0014$ м;

6) Радіус мішалки : $R_1 = d/2 = 0,2/2 = 0,1$ м;

$r_1 = R_1 - b = 0,1 - 0,0014 = 0,0986$ м;

7) Кутова швидкість лопаті : $\omega = (\pi \cdot n) / 30 = (3,14 \cdot 2,5) / 30 = 0,262/c$;

7) $Re_M = n \cdot d^2 = 2,5 \cdot 0,2^2 = 0,1$

8) $K_N = (g \cdot d \cdot \rho) / \mu = (9,8 \cdot 0,2^3 \cdot 0,98) / 0,1^2 = 7,68$

9) $N_{дв} = (\beta_1 \times \beta_2 / \eta) \cdot N = \beta_1 + \beta_2 \cdot \Pi \cdot K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 = (2 \cdot 1,2 / 0,095) \cdot 7,68 \cdot 0,98 \cdot 2,5^3 \cdot 0,2^5 = 0,95$ кВт.

Реактор-мішувач з дволопатевою мішалкою наведений на рисунку 2.1

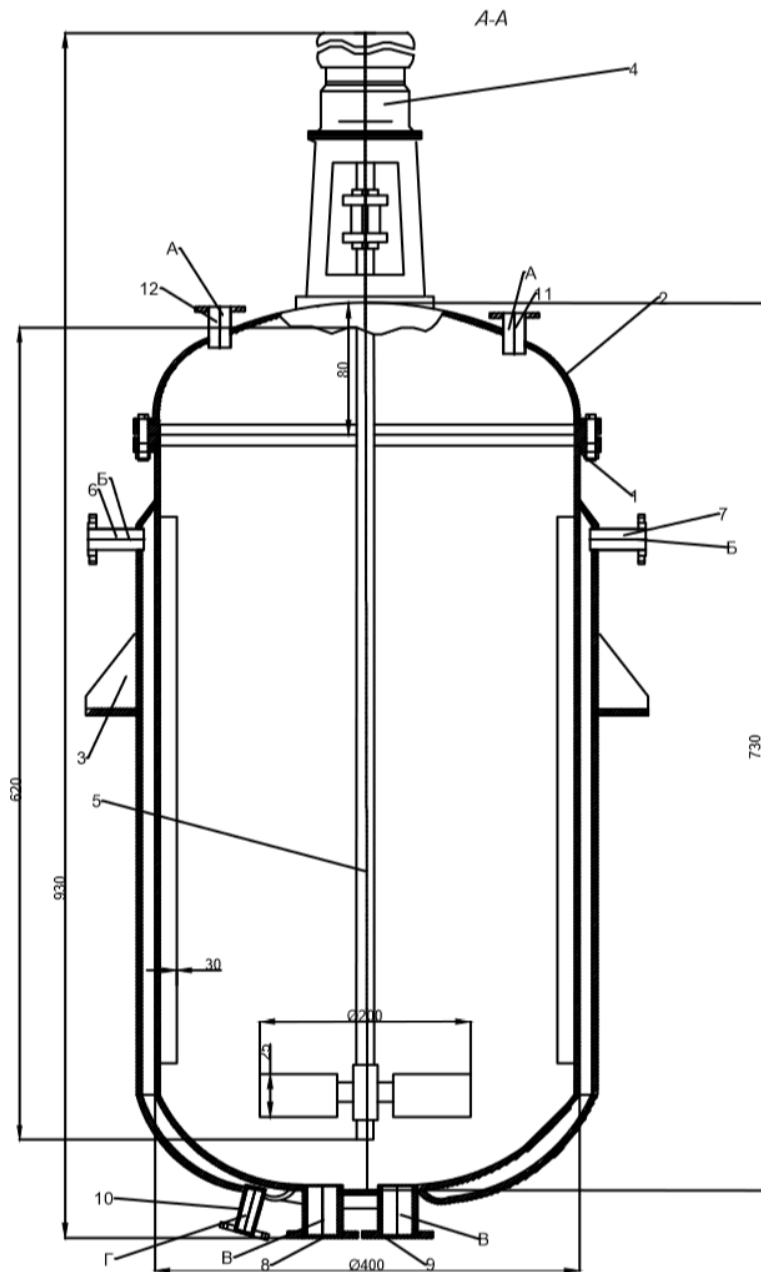


Рисунок 2.1. Реактор-мішувач з дволопатевою мішалкою

2.7. Опис апаратурно-технологічної схеми

Апаратурно-технологічна схема виробництва твіну 80 наведена на рисунку 2.2.

Естерифікація сорбітану проводиться олеїною кислотою в присутності фосфорної кислоти при температурі 180–215 °С протягом 6 годин. Процес здійснюється в реакторі 1 із рубашкою обігріву для підтримання стабільної температури та мішалкою для інтенсивного перемішування.

Після естерифікації сорбітан моноолеат піддається оксиетилюванню газом етиленоксидом у присутності каталізатора KOEt. Процес проходить у спеціалізованому автоклаві 3, обладнаному системою обігріву, дозатором для подачі етилен оксиду, запобіжними клапанами і вакуумною системою. Реакція відбувається при температурі 130 °С та автогенному тиску 0,2–0,4 МПа протягом 8 годин. Автоклав забезпечує рівномірне перемішування для оптимального протікання реакції і безпечно керування подачею оксиду.

По завершенні оксиетилювання масу охолоджують до 20–25 °С за допомогою охолоджуючої рубашки автоклава. Охолодження проводиться поступово для уникнення термічних шоків і забезпечення безпечного подальшого оброблення.

Для видалення залишків води, 1,4-діоксану та етилену продукт піддають вакуумному випаровуванню при температурі 110 °С та тиску 10 кПа. Застосовується плівковий випарник 5, оснащений вакуумною насосною системою та конденсатором для збору летких фракцій.

Перед фільтрацією продукт охолоджують до 20–30 °С у пластинчастому теплообміннику 7 для досягнення оптимальної в'язкості й температури фільтрації.

Фільтрація проводиться для видалення залишкових твердих домішок, солей калію та продуктів побічних реакцій. Використовується фільтр-прес 9 із хімічно стійких матеріалів.

Очищений полісорбат 80 надходить до пластинчастого теплообмінника 11, де температура підтримується на рівні 20–25 °С.

Після охолодження кінцевий продукт, полісорбат 80, транспортується на пакування за допомогою автоматичної пакувальної машини 13, що забезпечує зручність процесу.

Висновок до розділу 2

1. В даному розділі було проаналізовано технологію та розроблено принципово-технологічну схему виробництва твіну 80.
2. Розрахувала матеріальний баланс за заданою продуктивністю (200 кг/добу) виробництва полісорбату 80.
3. Проведено підбір обладнання та розроблено апаратурно-технологічну схему виробництва полісорбату 80.
4. Розраховано реактор-змішувач з дволопатевою мішалкою, тепловий баланс та розроблено креслення цього апарату

РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1. Розрахунок економічної ефективності

Дохід

Вартість 1 кг полісорбату – 60 грн. Щоденний обсяг виробництва складає 200 кг. Визначаємо дохід за один день:

$$\text{Дохід} = 200 \cdot 950 = 190\,000 \text{ грн на день}$$

Витрати на сировину

Сировина і основні матеріали, які необхідні для виробництва твіну 80 наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Сировина і основні матеріали, які необхідні для виробництва твіну 80

Сировина та основні матеріали на 200 кг виробництва твіну 80

Назва сировини	Кількість сировини, кг	Вартість за кілограм, грн	Загальна вартість, грн
Сорбітан	24	1 090	26 160
Олеїнова кислота	41,3	120	4 956
KF/Al ₂ O ₃	12,24	140	1 713,6
Фосфорна кислота	0,15	150	22,5
Оксид етилену	128,16	470	60 235,2
Всього		93 087,3	

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Зеленська О.В.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.053.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ца	Аркуш 53/70

Транспортно-заготівельні витрати на сировину та основні матеріали - 5%, що складають 4 654,365 грн. Отже, всього витрати становлять 97 741,665 грн/200 кг.

Витрати на пакування

Таро-упаковувальні матеріали на виготовлення твіну 80 наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 3.2 Таро-упаковувальні матеріали на виготовлення твіну-80.

Сировина та матеріали	Одиниця виміру	Норми витрат на 200 кг	Ціна одиниці	Сума, грн
Пляшка ПЕТ 1 л з кришкою	шт	80	6,43	514,4
Пляшка ПЕТ 0,5 л з кришкою	шт	240	4,39	1 053,6
Етикетка	шт	320	0,067	21,44
Гофрований ящик	шт	54	5,94	320,76
Скотч	шт	6	89,4	536,4
Всього				2446,6

Транспортно-заготівельні витрати на сировину та основні матеріали - 5%, що складають 122,33 грн. Отже, всього витрати становлять 2568,93 грн/200 кг.

Заробітна плата працівників

На виробництві працює 8 працівників, котрі працюють протягом 25 робочих днів на місяць. Загальна сума заробітних плат становить 150 000 грн на місяць і розподіляється наступним чином: 2 робтники – 23 000 грн, 2 робітники – 18 000 грн, 4 робітники – 17 000.

Визначаємо суму заробітних плат за день:

$$\frac{150000}{21} = 6\,000 \text{ гривень на день}$$

Податки

ЄСВ для 8 працівників: 22% від мінімальної заробітної плати щомісячно, в 2024 році він складає 1760 грн. Для 8 працівників ця сума складає 14 080 гривень на місяць. Обчислення податку на день:

$$\text{ЄСВ на день} = \frac{14080}{25} = 563,2 \text{ грн на день}$$

Єдиний податок: 7 500 грн (5 % від заробітної плати).

Військовий збір (1% від доходу): 1 500 грн.

Визначаємо розмір загального податку:

$$\text{Загальні податки} = 15\,000 + 1\,500 + 563,2 = 9\,563,2 \text{ грн.}$$

Комунальні витрати

Енергетичні витрати за весь процес 90 кВт/год, тобто 50 кВт/год • 8 год = 400 кВт/доба. Розраховуємо вартість електроенергії: 400 • 4,32 = 1 728 грн/доба.

Води потрібно 4 м³/добу. Вартість водного забезпечення складає: 4 м³/доба • 60 грн/м³ = 240 грн/доба.

Загальні комунальні витрати: 1 728 + 240 = 1 968 грн/доба

Загальні витрати на день:

Визначаємо загальну суму витрат:

$$\text{Витрати} = 97\,741,665 + 2568,93 + 6\,000 + 9\,563,2 + 1\,968 = 117\,841,795$$

грн

Прибутковість

Прибуток як економічний показник визначається як різниця між ціною та собівартістю продукції; між обсягом виручки та сумою витрат на виробництво, реалізацію продукції, фінансових та інвестиційних витрат.

Визначаємо прибуток та рентабельність.

$$\text{Прибуток} = \text{Дохід} - \text{Витрати} = 190\,000 - 117\,841,795 = 72\,158,205 \text{ грн}$$

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Дохід}} \cdot 100\% = \frac{72\,158,205}{190\,000} \cdot 100 = 37,98\%$$

Висновок до розділу 3

1. У розділі 3 наведено техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу виробництва полісорбату 80 шляхом аналізу економічної доцільності, що охоплює обчислення вартості сировини, основних і допоміжних матеріалів, пакувальних засобів, витрат на енергоресурси, основну заробітну плату працівників, загальновиробничі й адміністративні витрати, а також визначення відпускнуої ціни одиниці готової продукції.

РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

ПРОДУКТУ

4.1. Система забезпечення та контролю якості продукції

Контроль якості є фундаментальним елементом у системі управління якістю продукції. Він полягає у виявленні відхилень у виробничому процесі, встановленні відповідності продукції вимогам нормативно-технічної документації, державним стандартам (ДСТУ, ISO) та вимогам споживача. Основна мета контролю — запобігання потраплянню на ринок неякісної продукції, а також своєчасне виявлення дефектів ще на ранніх етапах виробництва.

Відповідно до ДСТУ ISO 9000:2001, під якістю розуміють «ступінь, до якого сукупність власних характеристик продукції відповідає встановленим або очікуваним вимогам» [27].

Сучасна система контролю якості охоплює сукупність процедур, методів, персоналу, матеріальних і технічних ресурсів, які спрямовані на забезпечення стабільності процесів та випуск якісної продукції. Така система включає не тільки безпосередній контроль, а й планування, аналіз, попередження дефектів та безперервне удосконалення.

Якісний підхід до організації служби якості передбачає об'єднання підрозділів, що виконують контроль, з тими, хто займається плануванням виробництва, розробкою технології та вдосконаленням процесів. Планування якості охоплює:

- визначення цілей та критеріїв якості;
- організацію відповідної структури управління якістю;
- розробку календарного плану заходів;
- підготовку документації;

розробку та впровадження програми якості [28].

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Зеленська О.В	<i>Назва, додаткова назва</i> ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКТУ	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.057.КП.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 57/70

4.2. Основні технічні характеристики полісорбату 80

Полісорбат 80 (твін-80, E433) є поверхнево-активною речовиною, що використовується як емульгатор у харчовій, фармацевтичній, косметичній і хімічній промисловості. Це в'язка рідина жовтувато-медового кольору з легким характерним запахом. Добре розчиняється у воді, спиртах та жирах, утворюючи стабільні емульсії.

Рекомендований вміст у косметичних продуктах становить від 1% до 50%, залежно від призначення. Для солубілізації ефірних масел застосовується співвідношення 1:1 або 2:1 (твін-80 : ароматизатор). Важливо дотримуватись дозування, адже перевищення 1% може призвести до значного загущення продукту. У косметичних рецептурах також комбінується з емульсійними восками (20% воску + 5% твіну-80) для отримання гідрофільних плиток.

Упаковується у герметичні скляні бутлі об'ємом 20 дм³, зберігається у сухому, прохолодному місці до 18 місяців [29].

4.3. Методи контролю якості твіну 80

Контроль якості полісорбату 80 здійснюється за допомогою спектрофотометричних, хроматографічних та хімічних методів. Найбільш поширені підходи:

1. Спектрофотометричні методи

Ці методи базуються на утворенні кольорового комплексу між поліоксіетиленовими ланцюгами полісорбату та реагентами, зокрема тіоціанатом кобальту амонію. Комплекс екстрагується органічним розчинником (бензол, хлороформ), після чого проводиться вимірювання поглинання при певній довжині хвилі (320, 500, 624 нм).

2. Визначення за продуктами гідролізу

У процесі гідролізу полісорбат розпадається з утворенням жирної кислоти – здебільшого олеїнової. Визначення концентрації кислоти (використовуючи колонки C18, детектори на 220, 195 або 210 нм) дозволяє судити про якість та

кількість полісорбату. Характеристики колонок, умови елюювання та стабільність градуированої кривої впливають на точність.

3. Альтернативні методи

Використовуються також методи з використанням йод-крохмального комплексу. Їх перевагою є доступність, але вони менш надійні в складних матрицях через можливу взаємодію з амінокислотами. Використання окисників допомагає покращити точність.

4. Порівняння методів

Методи аналізу без гідролізу швидші, не потребують складної пробопідготовки, але вимагають дорогої апаратури (МС-, ELSD-, CAD-детектори). Методи за продуктами гідролізу – дешевші в реалізації, але складніші та потребують ідентичного зразка полісорбату для порівняння.

Висновки до розділу 4

2. В даному розділі було наведено контроль якості полісорбату 80 і зазначено умови для стабільної та ефективної роботи підприємства.
3. Найбільш інформативними та точними є методи спектрофотометрії та хроматографії, які дають змогу оцінити як саму речовину, так і продукти її гідролізу.
4. Використання твіну 80 вимагає суворого дотримання дозувань, умов зберігання та відповідності технічним характеристикам.
5. Організація контролю повинна бути інтегрована в загальну систему управління якістю відповідно до вимог стандарту ISO 9000:2001.
6. Для складних багатокомпонентних систем доцільно використовувати методи з високою селективністю (ВЕРХ/МС), тоді як для простих сумішей можливе застосування менш затратних методик.

РОЗДІЛ VI ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Охорона праці

Хімічна промисловість є однією з найнебезпечніших галузей з точки зору професійної безпеки. Через специфіку процесів виробництва працівники часто піддаються впливу шкідливих і небезпечних хімічних речовин, що може призвести до гострих або хронічних отруєнь.

Гострі отруєння (ГО) виникають у випадках разового потрапляння великої концентрації токсичних речовин в організм за короткий проміжок часу (не більше однієї зміни). Такі випадки зазвичай пов'язані з порушеннями технологічної дисципліни, несанкціонованими діями персоналу або відсутністю належних засобів індивідуального захисту.

Хронічні отруєння (ХО) розвиваються повільно і є результатом тривалого впливу малих доз токсичних речовин. Найчастіше вони призводять до професійних захворювань, які потребують медичного спостереження, лікування та зміни умов праці.

Токсичність — це властивість речовини викликати порушення фізіологічних функцій організму, що залежить від:

- хімічної структури речовини,
- її леткості та розчинності у воді та жирах,
- способу потрапляння в організм (через дихальні шляхи, шкіру, шлунково-кишковий тракт),
- тривалості та інтенсивності контакту.

Висока температура тіла, надмірна вага, захворювання печінки та нирок можуть посилити ефект токсичних речовин.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Зеленська О.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.060.КП.ПЗ</i>				
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 60/70	

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88, токсичність класифікується за гранично допустимими концентраціями (ГДК) у повітрі робочої зони. Залежно від впливу на організм, речовини поділяються на 9 основних груп: нервові, подразнюючі, такі, що уражають шкіру, ферментні, кров'яні, печінкові, мутагенні, алергенні та канцерогенні [30,31].

Крім хімічної небезпеки, у хімічній галузі важливими є також фізичні фактори ризику, такі як шум і вібрація, які викликають:

- зниження слуху,
- головний біль, запаморочення,
- зниження продуктивності праці.

Міри захисту від вібрації та шуму:

- ✓ встановлення обладнання на вібропоглинаючі платформи;
- ✓ використання шумоізолюючих матеріалів для обробки стін і стель;
- ✓ індивідуальні засоби захисту (навушники, віброізоляційні рукавиці);
- ✓ обмеження часу перебування у зоні впливу;
- ✓ планування перерв для активного відпочинку;
- ✓ звукоізольовані кімнати відпочинку для персоналу [32].

5.2. Пожежна безпека

Пожежна безпека у хімічному виробництві є складовою системи охорони праці, яка регламентується Правилами пожежної безпеки в Україні. Особливу небезпеку становлять легкозаймисті та вибухонебезпечні речовини, зокрема органічні розчинники, окис етилену, водень, ацетон тощо.

Система пожежної безпеки повинна включати:

- пожежну сигналізацію та системи автоматичного пожежогасіння;
- евакуаційні шляхи та відповідне освітлення;
- інструктажі та навчання працівників;
- перевірку засобів гасіння вогню (вогнегасники, гідранти, пісочниці);
- контроль електрообладнання та нагрівальних приладів
- порядок роботи з відкритим вогнем і вибухонебезпечними речовинами.

Особлива увага приділяється інструктажу персоналу, перевірці знань, наявності планів евакуації, та внутрішньому аудиту перед перевітками ДСНС. Орендарі виробничих площ також зобов'язані дотримуватись протипожежних вимог, що має бути зафіксовано в договорі [33].

5.3. Екологічна безпека підприємства

У процесі виробництва полісорбату 80 утворюються побічні речовини, зокрема етилен оксид та 1,4-діоксан, які можуть потрапити в атмосферу.

1,4-діоксан:

Побічний продукт етоксидування.

Високолеткий, канцероген групи 2В (IARC).

Здатний проникати у ґрунт і підземні води.

Утворює вибухонебезпечні суміші.

ГДК у повітрі – 0,01 мг/м³.

Уловлюється через вентиляційні шахти та направляється на регенерацію або продаж іншим підприємствам [34].

Етилен оксид (C₂H₄O):

Летючий, токсичний, вибухонебезпечний газ.

Канцероген I групи (IARC).

Симптоми інтоксикації: головний біль, запаморочення, печіння в очах, ураження легень і нервової системи.

Застосовується в стерилізації медичних виробів.

Незважаючи на потенційну небезпеку, вміст забруднювальних речовин при належному проектуванні виробництва не перевищує критичних меж. Це підтверджується розрахунками матеріального балансу та дотриманням вимог екологічного моніторингу [35].

5.4. Законодавче регулювання та оцінка впливу на довкілля

Для підприємств хімічної галузі законодавством України передбачено обов'язкове проходження процедури Оцінки впливу на довкілля (ОВД) згідно із Законом України «Про оцінку впливу на довкілля».

Категорії діяльності, які підлягають ОВД:

- ✓ виробництво хімічних речовин, ПАР, полімерів;
- ✓ зберігання хімічних продуктів понад 10 т/рік;
- ✓ використання біотехнологій у виробництві;
- ✓ виготовлення засобів захисту рослин.

Процедура ОВД включає:

1. Публікацію повідомлення про планову діяльність.
2. Проведення громадських слухань.
3. Розробку звіту з урахуванням зауважень громадськості.
4. Отримання експертного висновку центрального органу влади [36].

Висновки до розділу 5

1. Охорона праці та екологічна безпека — невід'ємна складова безпечного функціонування хімічного підприємства. Гострі та хронічні отруєння, шум, вібрація, вибухонебезпечність речовин потребують комплексного підходу до захисту працівників та навколишнього середовища. Застосування технічних, організаційних та інформаційних заходів дозволяє суттєво знизити ризики.
2. Дотримання норм пожежної безпеки, регулярне навчання персоналу, правильна експлуатація обладнання — це запорука уникнення надзвичайних ситуацій.
3. Щодо екології, важливо не лише мінімізувати викиди шкідливих речовин, а й налагодити вторинне використання побічної продукції (наприклад, 1,4-діоксану). Сучасна хімічна галузь повинна орієнтуватися на принципи сталої екології, енергоефективності, мінімізації відходів та відповідальності перед суспільством.

ВИСНОВКИ

1. У процесі виконання дипломної роботи на тему "Удосконалення технології виробництва твіну 80" було проведено комплексний аналіз науково-технічної літератури, вивчено властивості основних сировинних компонентів, розроблено технологічну схему виробництва, здійснено підбір основного обладнання, наведені розрахунки реактор-змішувача з дволопатевою мішалкою та розраховано матеріальний баланс виробництва при потужності 200 кг/добу, розраховано тепловий баланс.

2. Полісорбат 80 є важливим неіоногенним поверхнево-активним речовиною, яке широко застосовується у харчовій, косметичній, фармацевтичній та хімічній промисловості. Його виробництво базується на двох основних стадіях: естерифікації сорбіту олеїною кислотою та подальшому поліетоксилюванні отриманого сорбітанолеату оксидом етилену.

3. Було встановлено, що для забезпечення стабільної роботи виробництва необхідно використовувати високоякісну сировину, що відповідає встановленим стандартам і технічним вимогам. Сорбіт, олеїнова кислота та оксид етилену повинні мати високу чистоту для забезпечення виходу цільового продукту високої якості.

4. У ході проектування технології було розроблено принципово-технологічну та апаратурно-технологічну схеми виробництва, які охоплюють усі етапи процесу — від підготовки сировини до пакування готового продукту. Підібрано основне технологічне обладнання відповідно до розрахованої продуктивності.

5. За розрахованим матеріальним балансом було визначено кількість сировини та допоміжних матеріалів, необхідних для виробництва 200 кг полісорбату 80 на добу.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Зеленська О.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> ВИСНОВКИ	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.065.КП.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 65/70

6. Також оцінено економічні витрати на виробництво, що включають споживання електроенергії та води.

7. А також наведені основні методи перевірки та контролю якості продукції

8. Розглянуто основні аспекти організації охорони праці та екологічний вплив на навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Garti N. (2001). Surfactant Science and Technology. Marcel Dekker.
2. Tadros T. (2016). Emulsion Formation and Stability. Wiley-VCH.
3. Rowe, R.C., Sheskey, P.J., Owen, S.C. (2009). Handbook of Pharmaceutical Excipients. Pharmaceutical Press.
4. McClements, D.J. (2005). Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques. CRC Press.
5. Schramm, L.L. (2000). Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications. Wiley-VCH.
6. Martín, A. et al. (2014). "Use of Tween 80 in nanocarriers: physicochemical properties and applications." International Journal of Pharmaceutics, 475(1-2), 50-63.
7. European Food Safety Authority (EFSA). (2018). Scientific Opinion on the re-evaluation of polysorbates (E 432–436).
8. FDA Inactive Ingredient Database. (2023).
9. Barel, A.O., Paye, M., Maibach, H.I. (2014). Handbook of Cosmetic Science and Technology. CRC Press.
10. JECFA Monographs. (2019). Polysorbate 80: toxicological evaluation.
11. Stone, C.A. et al. (2019). "Immediate hypersensitivity to polyethylene glycols and polysorbates." Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice, 7(5), 1533-1540.
12. Nema, S. Excipients: Parenteral Dosage Forms and Their Role In: Encyclopedia of PHARMACEUTICAL TECHNOLOGY Third Edition / S. Nema, R.J. Brendel, R. Washkuhn // Ed. J. Swarbrick Pharmaceu Tech, Inc. Pinehurst, North Carolina, USA, by Informa Healthcare USA, Inc. – 2007. -V. 1. - P. 1624
13. Lopalco, A. et al. (2015). "Polysorbate 80-coated nanocarriers for drug delivery." Pharmaceutical Development and Technology, 20(1), 72–77.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> РОМАНОВА О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> ЗЕЛЕНЬСКА О.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	<i>Ідентифікатор</i> ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.067.КП.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> НОСЕНКО Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуши</i> 67/70

14. Kriegel, C. et al. (2012). "Drug delivery with polysorbate-modified systems." *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64(9), 973–986.
15. Трегубенко, В. І., Лебедєв, О. Т. (2001). *Фізико-хімія поверхневих явищ*. М: Хімія.
16. Авраменко Н. А. *Колоїдна хімія*. – Харків: НФаУ, 2017. – 216 с.
17. Sharma, R. et al. (2020). "Comparative analysis of polysorbates in pharmaceutical emulsions." *Pharmaceutical Research*, 37(12), 243.
18. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council on food additives.
19. United States Pharmacopeia (USP 43). (2023). *Monograph: Polysorbate 80*.
20. Garti, N. (2001). *Surfactant Science and Technology*. Marcel Dekker.
21. Sharma, R. et al. (2020). "Comparative analysis of polysorbates in pharmaceutical emulsions." *Pharmaceutical Research*, 37(12), 243.
22. EFSA Panel on Food Additives. (2018). Re-evaluation of polysorbates (E 432–436) as food additives. *EFSA Journal*, 16(3), e05258.
23. Koivisto, J. et al. (2014). "Ethylene oxide and 1,4-dioxane residues in polysorbate excipients." *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 103(9), 2855–2861.
24. Andriamanohiarisoamanana, F. J. et al. (2021). "Sucrose esters as natural emulsifiers: properties and applications." *Food Hydrocolloids*, 118, 106828.
25. Zhang, Y. et al. (2023). "Biobased PEG alternatives for green surfactant design." *Green Chemistry*, 25(2), 789–799.

26. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія» денної та заочної форм навчання /уклад.: О.Г Макаренко, О.В Подобій, Т.М. Бойчук та ін. – К.: НУХТ, 2020. – 66 с.
27. ДСТУ ISO 9000:2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів.
28. Гусєв В.А., Бухарова Г.П. Контроль якості харчових добавок. - М.: Харчова промисловість, 2010.
29. Ключєва Н.М., Дударєв О.О. Аналітична хімія поверхнево-активних речовин. – К.: Наук. думка, 2015.
30. Рахманова Т.В. Методы анализа эмульгаторов в косметических средствах. // Вестник косметологии. – 2021. – №3.
31. PubChem, FDA Inactive Ingredient Database. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov> (Дата звернення: 19.06.2025).
32. ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітряної робочої зони.
33. Наказ МОЗ №400 від 14.01.2020 р. “Про затвердження гігієнічних нормативів хімічних речовин”.
34. ДСТУ EN ISO 5349:2015. Вібрація. Вимірювання впливу на людину.
35. Правила пожежної безпеки в Україні (Наказ МВС № 1417 від 30.12.2014 р.).
36. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for 1,4-Dioxane.

37. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans – Ethylene Oxide.
38. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 №2059-VIII.