

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

“19” лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

ХОМЕНКО Ярослава Романівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології отримання форміату натрію

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “29” листопада 2024 року
№ 984-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 11.02.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи потужність виробництва 1000 кг/добу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, технологічна частина, техніко-економічне обґрунтування, організація контролю якості продукції, екологічна безпека та охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципово-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

7. Дата видачі завдання 29 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	29.11.2024	
2	РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	30.11.2024-15. 12.2024	
3	РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	16. 12.2024-12. 01.2025	
4	РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	13. 01.2025-19. 01.2025	
5	РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	20. 01.2025-26. 01.2025	
6	РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	20.01.2025-02.02.2025	
7	ВИСНОВКИ	03.02.2025-05. 02.2025	
8	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	06. 02.2025-09. 02.2025	
9	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	13. 01.2025-19. 01.2025	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	20. 01.2025-27. 01.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. КРЕСЛЕННЯ АПАРАТУ (ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД)	20. 01.2025-27. 01.2025	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	10.02.2025-14.02.2025	

Здобувач

_____ (підпис)

Ярослава ХОМЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олеся РОМАНОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Хоменко Я.Р. Удосконалення технології отримання формиату натрію

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 66 С., 3 РИС, 36 ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.

Темою даної кваліфікаційної роботи є удосконалення технології отримання формиату натрію продуктивністю 1000 кг/добу.

У роботі досліджено сфери використання і сучасні технології виробництва формиату натрію, який відомий як харчова добавка E237. На базі даних досліджень було вдосконалено метод виробництва формиату натрію

Розроблено процес виробництва формиату натрію взаємодією карбон (II) оксиду та гідроксиду натрію.

Підібрано основне технологічне обладнання і на основі цього розроблено принципова та апаратурно-технологічні схеми отримання мурашиної кислоти.

Розрахований матеріальний й баланс для виробництва.

Розглянуто та описано вимоги до контролю якості готової продукції згідно з нормативними документами. Проаналізовано стандарти охорони праці та заходи з охорони навколишнього середовища на підприємстві.

Пояснювальна записка бакалаврської роботи складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаних джерел, що включає 36 найменувань. Роботу викладено на 66 сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХАРЧОВА ДОБАВКА, ФОРМАТУ НАТРИЮ, НАТРИЙ МУРАШИНОКИСЛИЙ, МЕТАНОАТ НАТРИЮ, E237.

ABSTRACT

Khomenko Y. Improving sodium formate production technology

EXPLANATORY NOTE: 66 P., 3 FIGURES, 36 REFERENCES.

The topic of this qualification work is the improvement of the technology for the production of sodium formate with a capacity of 1000 kg/day.

The work investigates the areas of application and modern technologies for the production of sodium formate, which is known as the food additive E237. Based on these studies, the method of sodium formate production was improved

A process for the production of sodium formate by the interaction of carbon (II) oxide and sodium hydroxide was developed.

The main technological equipment was selected and, on this basis, the schematic and process flow diagrams for the production of formic acid were developed.

The material and balance sheets for production are calculated.

The requirements for quality control of finished products in accordance with regulatory documents are considered and described. Labour protection standards and environmental protection measures at the enterprise are analysed.

The explanatory note of the bachelor's thesis consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, and a list of references that includes 36 titles. The work is presented on 66 pages.

KEYWORDS: FOOD ADDITIVE, SODIUM FORMATE, SODIUM FORMIC ACID, SODIUM METHANOATE, E237.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ I. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	9
РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
РОЗДІЛ III. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	40
РОЗДІЛ IV. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	48
РОЗДІЛ V. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	56
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	ЗМІСТ	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.005.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова уа	Аркуш 5/67

ВСТУП

Одним з найвідоміших консервантів є формиат натрію (E237). Ця речовина є сіллю мурашиної кислоти та широко використовується в різних галузях промисловості.

Форміат натрію застосовується у харчовій, текстильній та сільськогосподарській промисловості [1]. Він ефективний проти розвитку дріжджів і пліснявих грибів, що сприяє продовженню терміну зберігання продуктів.

У харчовій промисловості формиат натрію використовується як консервант та регулятор кислотності. Він може входити до складу кормових добавок, оскільки сприяє покращенню засвоєння поживних речовин. Завдяки його властивості знижувати рівень рН у кормах, створюється сприятливе кислотне середовище у травному тракті, що підвищує ефективність ферментативних процесів і покращує травлення [2].

Актуальність даної теми полягає у розробленні удосконаленої технології виробництва формиату натрію, використовуючи три реакційні реактори для повноти проходження реакції отримання формиату.

Об'єкт дослідження – є технологія виробництва формиату натрію, **предметом** дослідження – є формиат натрію.

Мета роботи – є розроблення технології виробництва формиату натрію.

Завдання для виконання роботи:

- Провести аналіз науково-технічної літератури щодо формиату натрію, його властивостей, галузей застосування, користі та можливого впливу на організм людини.
- Розробити загальну технологічну схему отримання формиату натрію.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва ВСТУП	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.006.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 6/67

- Виконати розрахунок матеріального балансу виробництва та на їх основі підібрати відповідне обладнання.
- Виконати інженерні розрахунки та креслення одного з ключових апаратів у процесі виробництва.
- Створити апаратурно-технологічну схему виробничого процесу форміату натрію.
- Розглянути заходи з охорони праці на виробництві та екологічні аспекти виробничого процесу.

РОЗДІЛ І. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Згідно з Законом України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини» (редакція від 24.10.2002 р.), харчова добавка визначається як природна або синтетична речовина, що спеціально вводить до складу харчових продуктів. Ці речовини не споживаються окремо, а використовуються на різних етапах виробництва, зберігання чи транспортування, аби поліпшити технологічні процеси, зберегти структуру та зовнішній вигляд продукту, підвищити його стійкість до псування, а також змінити органолептичні характеристики [3].

Основні функції харчових добавок включають регулювання вологості, що дозволяє контролювати баланс вологи в продуктах, запобігаючи їх пересиханню або надмірному зволоженню. Подрібнення, своєю чергою, полегшує обробку сировини та забезпечує однорідність. Розпушувальні добавки надають легкість та пухнастість випічці, тоді як емульгатори стабілізують суміші рідин, які зазвичай не змішуються, забезпечуючи однорідність соусів і кремів.

Ущільнюючі добавки підвищують щільність продукту, поліпшуючи його текстуру і стабільність, а відбілювачі покращують колір, надаючи виробам апетитного вигляду. Глазуровані добавки забезпечують блискучий зовнішній вигляд, а окислювачі сприяють поліпшенню текстури та кольору, подовжуючи термін зберігання. Охолоджуючі добавки роблять продукти більш свіжими, а консерванти запобігають їх псуванню, подовжуючи термін придатності.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.008.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 8/67

Ароматизатори додають специфічний смак і запах, роблячи продукти привабливими для споживачів, а регулятори кислотності підтримують оптимальний рівень рН, що позитивно впливає на смакові якості та збереження продукції. Станом на сьогодні в харчовій промисловості різних країн використовують близько 500 видів харчових добавок, не враховуючи комбіновані добавки, окремі харчові речовини та ароматизатори [4].

В Європейському Союзі налічується близько 300 харчових добавок, для яких була розроблена система цифрової кодифікації, спрямована на гармонізацію їх використання. Ця система інтегрована в кодекс ВООЗ для харчових продуктів і вважається міжнародним стандартом. Кожній харчовій добавці присвоєно три- або чотиризначний цифровий номер, який разом із назвами функціональних класів відображає їх технологічні властивості.

Класифікація харчових добавок базується на буквено-цифровому позначенні відповідно до системи «Codex Alimentarius». На етикетках харчових продуктів добавки ідентифікуються індексом "E" (Europe), доповненим трьох- або чотиризначним номером, що свідчить про перевірку безпеки відповідних сполук. Для цих добавок встановлені критерії чистоти та гігієнічні норми, включаючи максимально допустимі рівні, добову дозу та допустиме споживання [5].

Згідно з санітарними нормами, затвердженими Міністерством охорони здоров'я України 23.07.1996 р. № 222, виробництво, використання та реалізація харчових добавок на території країни потребують отримання спеціального дозволу. Також, постановою Кабінету Міністрів України від 04.01.1999 р. № 12 був затверджений перелік харчових добавок, дозволених для використання в харчових продуктах.

E100-E199: Барвники — ці добавки надають харчовим продуктам кольору або відновлюють його, що може бути втрачено в процесі обробки. Барвники можуть бути натурального походження, наприклад, бетакаротин, або синтетичними, такими як татразин.

E200-E299: Консерванти — ці добавки забезпечують збереження продуктів, запобігаючи розмноженню бактерій і грибків. Хімічні консерванти використовуються для стримування бродіння вин і як дезінфікуючі засоби.

E300-E399: Антиоксиданти — ці добавки захищають харчові продукти від окислення, зміни кольору та гіркоти. Вони можуть бути природного походження, наприклад, аскорбінова кислота і вітамін Е, або синтетично отриманими. Їх часто додають до жирових та масляних емульсій, наприклад, у майонез.

E400-E499: Стабілізатори та загусники — ці добавки відіграють важливу роль у підтриманні консистенції харчових продуктів, підвищуючи їх в'язкість.

E600-E699: Підсилювачі смаку та аромату — ці добавки покращують смакові та ароматичні характеристики харчових продуктів, а також здатні маскувати небажані смаки.

E900-E999: Антифламінги, піногасники та глазуруючі речовини — ці добавки запобігають утворенню піни й сприяють досягненню однорідної консистенції харчових виробів.

E1000 і вище: Глазуруючі речовини, підсолоджувачі, розпушувачі та регулятори кислотності — сюди також входять інші не класифіковані добавки, такі як ферменти, хімічні розчинники, антибіотики, модифіковані крохмали та багато інших.

Деякі харчові добавки можуть негативно впливати на здоров'я:

E103, E105, E121, E123, E125, E126, E130, E131, E142, E153 — ці пігменти, що використовуються в солодких газованих напоях, льодяниках та кольоровому морозиві, можуть сприяти розвитку злоякісних пухлин.

E171-E173 — пігменти, що містяться в солодких газованих напоях, льодяниках та кольоровому морозиві, можуть викликати захворювання нирок та печінки.

E210, E211, E213-E217, E240 — ці консерванти, які знаходять застосування в різноманітних консервах (гриби, овочі, варення, соки та компоти), можуть бути причинами розвитку злоякісних пухлин.

E221-E226 — консерванти, присутні у консервах, можуть викликати захворювання травного тракту.

E230-E232, E239 — консерванти, що використовуються в консервах, можуть призводити до різноманітних алергічних реакцій.

E311-E313 — , що містяться в йогуртах, кисломолочних продуктах, ковбасах, вершковому маслі та шоколаді, можуть викликати проблеми з травленням.

E407, E367, E450 — стабілізатори та загусники, які використовуються у варенні, джемі, згущеному молоці та шоколадному сирі, можуть мати негативний вплив на нирки та печінку.

E461-E466 — ці стабілізатори та загусники, що входять до складу варення, джему, згущеного молока та шоколадного сиру, можуть сприяти розвитку захворювань травного тракту.

E924a, E924b — піногасники, що містяться в газованих напоях, можуть бути пов'язані з ризиком утворення злоякісних пухлин.

Крім того, існують харчові добавки, які заборонені регуляторними органами. До цієї категорії відносяться: *E121*, відомий як барвник "цитрусовий червоний", та *E240*, що являє собою небезпечну речовину формальдегід. Під кодом *E173* приховується порошковий алюміній, який використовують для декорування цукерок і кондитерських виробів, хоча не в усіх країнах ця добавка є дозволеною. Також у багатьох країнах заборонено використовувати натуральний барвник *E120*, відомий як

кармін, який отримують із щитовок — комах, що паразитують на кімнатних рослинах [6].

Форміат натрію (Sodium Formate), відомий також як натрієва сіль мурашиної кислоти (HCOONa), є поширеним метаболітом, який активно використовується в промисловості та лабораторних дослідженнях. Харчова добавка E237 відноситься до штучних консервантів. Її застосовують під час виробництва харчових продуктів для подовження терміну їх зберігання. Завдяки своїм антимікробним властивостям добавка стримує розмноження грибків і бактерій, що запобігає виникненню неприємного запаху та смаку. Варто зазначити, що натрій формат природно міститься в соках деяких рослин і біорідинах живих організмів.

При дотриманні встановлених норм (максимальна добова доза — 3 мг на 1 кг маси тіла) натрій формат не шкодить здоров'ю. Наукових доказів про його позитивний вплив на організм немає, і він не має високої біологічної цінності. Дослідження підтверджують, що добавка не є канцерогеном і не має мутагенного ефекту.

За ступенем небезпеки речовина відноситься до IV класу. У високих концентраціях натрій формат може подразнювати верхні дихальні шляхи та слизові оболонки. Тому при роботі з ним слід використовувати засоби індивідуального захисту (спеціальний халат, респіратор, гумові рукавички). У аварійних ситуаціях рекомендується застосування протигазів категорій А або М. Хоча з технічної точки зору натрій формат є вибухонебезпечним, він не горючий, але в , де він зберігається чи використовується, заборонено паління і використання відкритого вогню [7].

Через складність і високу вартість виробництва більшість країн відмовилася від застосування цієї харчової добавки. Раніше її додавали до безалкогольних напоїв, консервованих овочів та дієтичних продуктів.

Крім того, натрій формат використовують як добавку до протигололедних сумішей, що знижує вплив на довкілля та захищає металеві частини транспорту і споруд дорожнього господарства (завдяки інгібуванню корозії). Також його застосовують для виробництва щавлевої кислоти та як протиморозна добавка при будівництві монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій, особливо в умовах, коли середньодобова температура нижча за 5 °С.

Це з'єднання має білий кристалічний вигляд і характеризується високою розчинністю у воді. Чиста форма натрію виглядає як білий кристалічний порошок з молекулярною масою 68,01 г/моль. Його густина становить 1,83 г/см³, а температура плавлення — 253 °С. Форміат натрію не є горючим, хоча може розкладатися при високих температурах. При температурі 20 °С його розчинність у воді сягає 860 г/л [8].

Фізико-хімічні властивості форміату натрію наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Фізико-хімічні властивості форміату натрію

Найменування показника	Характеристика
Зовнішній вигляд та колір	Безбарвні кристали або білий порошок без грудок; допускається жовтуватий відтінок у першого сорту.
Смак	, без стороннього смаку.
Запах	Розчин концентрації 20 г/дм ³ у дистильованій воді не має запаху.
Структура	Сипучі, сухі, на дотик не липкі кристали.

Масова частка формиату натрію (HCOONa), %	99,0-100,0
Молекулярна маса	68,01 г/моль
Густина	1,92 г/см ³
Температура плавлення	253 °С
Температура розкладу	360 °С
Розчинність у воді	970 г/л (при 20 °С)
Реакція водного розчину	Слабко-лужна (рН 7,4-8,0 при 10% розчині)
Точка займання	Не займистий
Масова частка миш'яку, %	не більше 0,00007
Масова частка важких металів (Pb, Hg), %	не більше 0,0005
Масова частка сульфатної золи, %	не більше 0,1

Вимоги до безпеки формиату натрію наведені у таблиці 1.2:

Таблиця 1.2

Вимоги безпеки формиату натрію

Клас небезпеки за ступенем впливу на організм людини	
Види небезпеки	Може викликати подразнення при прямому контакті, особливо на слизових оболонках та шкірі.
Вибухо- та пожежонебезпека	Форміат натрію пожежо- та вибухобезпечний.
Небезпека для людини	Викликає подразнення слизових оболонок, шкіри, дихальних шляхів; при ковтанні – нудота, блювота.

Клас небезпеки за ступенем впливу на організм людини	
Засоби індивідуального захисту	Респіратори, гумові рукавички, захисні окуляри, халати.
Заходи першої допомоги при контакті	При контакті зі шкірою або очима — негайно промити великою кількістю води, звернутися до лікаря.
Гранично допустима концентрація (ГДК) у повітрі	5 мг/м ³ .
Вплив на навколишнє середовище	Може спричиняти забруднення водних об'єктів при неправильному зберіганні чи утилізації.
Методи утилізації	Утилізація відповідно до норм місцевого екологічного законодавства.

Розглянемо структурну формулу формиату натрію, яка зображена на рисунку 1.1 [9].

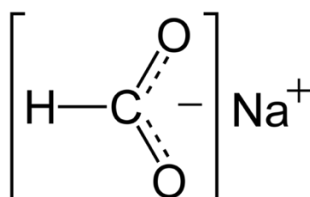


Рисунок 1.1 Структурна формула формиату натрію.

Форміат натрію (натрієва сіль мурашиної кислоти) — це сіль мурашиної кислоти, яка знаходить широке застосування у різних галузях промисловості. Він використовується як консервант, антибактеріальний агент та для регулювання рН у різних продуктах. Також формиат натрію є ефективним відновлювачем і для дублення шкіри, знебарвлення текстильних виробів та стабілізації багатьох хімічних процесів.

Завдяки своїм антибактеріальним властивостям, формиат натрію широко застосовується у харчовій промисловості як консервант (харчова добавка E237) та у виробництві кормів для тварин. У хімічній

промисловості його застосовують у виготовленні формиатових буферів для регулювання кислотності розчинів.

Форміат натрію є досить стабільною сполукою при зберіганні за звичайних умов, але при контакті з сильними кислотами він розкладається з виділенням мурашиної кислоти. Солі формиату, як і сам формиат натрію, мають здатність до утворення слабо розчинних комплексів, що може бути корисним у деяких хімічних процесах, таких як очистка стічних вод.

Форміат натрію знаходить широке застосування в різних галузях промисловості завдяки своїм відновлювальним, консервуючим та регулюючим властивостям. Його використовують у шкіряній промисловості під час дублення, оскільки він допомагає знизити кислотність дубильних розчинів і забезпечує глибше проникнення дубильних речовин у структуру шкіри, що покращує її еластичність, зносостійкість та захищає від надмірного окислення. У текстильній промисловості формиат натрію виступає як відновлювач під час фарбування, сприяючи отриманню насичених і стійких кольорів, стабілізуючи хімічні процеси і підтримуючи оптимальний рівень рН у розчинах. Нафтохімічна галузь використовує його для стабілізації бурових розчинів, що дозволяє знижувати їх в'язкість і підвищувати щільність, що, у свою чергу, сприяє ефективному бурінню та зменшенню ризику обвалів свердловин [10].

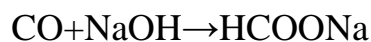
Форміат натрію також входить до складу антифризів і рідких деайсерів, адже ефективно розчиняє лід і сніг на дорогах, запобігаючи їх подальшому утворенню, при цьому має нижчий рівень корозійної активності і є безпечнішим для навколишнього середовища порівняно з традиційними реагентами. У харчовій промисловості, де він використовується як консервант, формиат натрію завдяки своїм антимікробним властивостям допомагає зберігати продукти свіжими протягом тривалого часу, а також регулює рівень кислотності, що зберігає

смакові якості і продовжує термін придатності. Крім того, ця речовина знаходить застосування у виробництві клеїв і смол, де сприяє контролю реакцій полімеризації і знижує в'язкість розчинів, що забезпечує ефективність та економічність виробництва полімерних матеріалів. Також формиат натрію використовується у процесах обробки деревини для її консервації і захисту від грибків та шкідників, що запобігає розкладанню деревини під впливом вологи і продовжує її довговічність. Загалом, універсальні властивості формиату натрію роблять його незамінним компонентом у багатьох виробничих процесах сучасної промисловості [11].

Основні методи отримання формиату натрію

Синтез з монооксиду вуглецю та гідроксиду натрію

У промисловості натрій формиат отримують шляхом реакції каустичного натру з вуглекислим газом або з генераторним газом, який складається з 30 % CO та 70 % N₂. Порошкоподібний каустичний натр нагрівають в автоклаві з CO під тиском 6–8 атм при температурі 120–150 °С, що забезпечує протікання реакції:



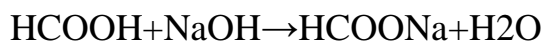
Температура повинна підтримуватися в межах 120–150 °С, оскільки при нижчих температурах реакція йде повільно, а при значно вищих – можуть виникати небажані побічні процеси. Високий тиск сприяє швидшій взаємодії, що зменшує час реакції й збільшує вихід кінцевого продукту. Обладнання, що використовується в цьому процесі, повинно бути стійким до корозії та здатним витримувати високі температури та тиск. Для цього застосовують реакційні апарати під тиском або автоклави.

Процес відрізняється високою чистотою, оскільки побічні продукти утворюються в мінімальних кількостях. Одним з можливих побічних продуктів може бути карбонат натрію (Na₂CO₃), але його утворення зазвичай контролюється шляхом регулювання температури та тиску.

Основними перевагами цього методу є його економічна ефективність та доступність сировини. Монооксид вуглецю та гідроксид натрію є дешевими й поширеними речовинами, що дозволяє отримувати форміат натрію без значних витрат. Крім того, цей метод забезпечує високий вихід кінцевого продукту і добре підходить для промислових масштабів виробництва. Однак цей процес вимагає наявності спеціального обладнання для роботи за високих температур і тиску, що може підвищити капітальні витрати на початкових етапах. Крім того, через використання монооксиду вуглецю, який є токсичним газом, процес потребує ретельного дотримання заходів безпеки.

Нейтралізація мурашиної кислоти гідроксидом натрію

Процес полягає в змішуванні мурашиної кислоти з розчином гідроксиду натрію. При цій реакції утворюється форміат натрію та вода, що можна виразити через наступне хімічне рівняння:



Ця реакція відбувається швидко і вивільняє тепло, що робить її термодинамічно вигідною для промислового виробництва. Для успішного проведення реакції необхідно забезпечити високу чистоту вихідних матеріалів. Мурашина кислота повинна бути не менше ніж 85% чистоти, а гідроксид натрію — технічної або фармацевтичної якості. Це гарантує високу вихідність форміату натрію та знижує ризик небажаних побічних реакцій.

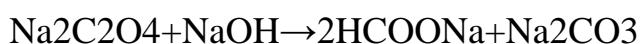
Нейтралізація може проводитися в різних умовах, але зазвичай температура реакції не перевищує 60 °С, щоб уникнути розкладання кислоти. Процес може здійснюватися в реакторах з механічним перемішуванням, що забезпечує однорідність суміші та підвищує ефективність реакції.

Після завершення реакції утворений форміат натрію може бути отриманий у вигляді розчину або кристалів. У промисловості зазвичай практикується подальше концентрування розчину та кристалізація форміату натрію. В результаті отримують білий кристалічний порошок, який легко розчиняється у воді.

Виробництво форміату натрію шляхом нейтралізації мурашиної кислоти гідроксидом натрію є економічно вигідним процесом, оскільки вихідний матеріал (мурашина кислота) доступний і має низьку вартість. Крім того, цей процес є екологічно чистим, оскільки утворюється лише вода як побічний продукт, що робить його привабливим для сучасної промисловості.

Реакція оксалату натрію з їдким натрієм

виробництва форміату натрію з оксалату натрію базується на двоступеневій реакції. Перший етап включає обробку оксалату натрію їдким натром. Реакція може бути представлена наступним хімічним рівнянням:



У результаті реакції утворюється форміат натрію, а також натрієва сіль вугільної кислоти (натрієва карбонатна сіль).

Для успішного проведення цього процесу важливо використовувати чистий оксалат натрію, оскільки присутність домішок може призвести до утворення небажаних побічних продуктів. Оксалат натрію, отриманий з природних або синтетичних джерел, має бути високої якості, щоб забезпечити максимальний вихід форміату натрію.

Реакція зазвичай проводиться при контролювальних температурах, щоб уникнути термічної деградації реагентів. Температура реакції зазвичай коливається між 60 °C та 80 °C, що дозволяє прискорити процес без втрати якості продукту.

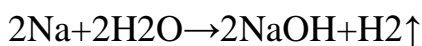
Перемішування реакційної суміші є критично важливим для забезпечення однорідності та максимального контакту між реагентами.

Після завершення реакції формиат натрію може бути виділений у вигляді розчину або у вигляді кристалів. Для цього зазвичай проводиться фільтрація для видалення натрієвої карбонатної солі, а потім концентрування та кристалізація формиату натрію. Отриманий продукт має вигляд білого кристалічного порошку, що легко розчиняється у воді.

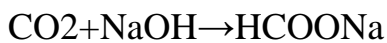
Виробництво формиату натрію через реакцію оксалату натрію з їдким натром є економічно вигідним, оскільки вихідні матеріали доступні за низькою ціною. Цей процес також є екологічно чистим, оскільки в основному утворюється формиат натрію без значної кількості побічних продуктів, що робить його привабливим для промисловості.

Реалізація реакції оксиду вуглецю (IV) з натрієм

Металевий натрій реагує з водою з утворенням гідроксиду натрію та воднем. Цей етап відбувається у контролювальних умовах для запобігання небезпечних реакцій:



Установка для виробництва формиату натрію зазвичай обладнана реакторами, де відбувається подальша реакція гідроксиду натрію з вуглекислим газом. У цьому реакторі забезпечується контрольоване введення CO_2 , де відбувається реакція:



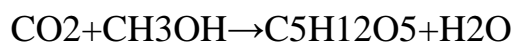
Реакція може проходити під тиском або при підвищеній температурі, щоб підвищити швидкість реакції та вихід продукту. Після реакції суміш охолоджується, і утворений формиат натрію відділяється від залишкових реагентів та побічних продуктів. Для цього використовують різноманітні методи, такі як фільтрація, центрифугування чи ректифікація.

Форміат натрію підлягає сушці, щоб усунути залишки вологи, після чого його упаковують для зберігання та подальшого транспортування.

Продукт зазвичай зберігається у герметичних контейнерах для запобігання контакту з вологою. Водень, що виділяється в процесі, є вибухонебезпечним, тому на виробництві передбачено системи вентиляції та захисту, щоб запобігти накопиченню газу: Застосування CO₂ з промислових викидів допомагає зменшити викиди парникових газів, роблячи процес більш екологічним.

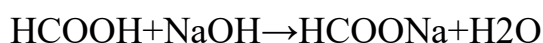
Отримання формиату натрію внаслідок побічного продукту у виробництві пентаеритриту

Виробництво пентаеритриту розпочинається з реакції вуглекислого газу і метанолу у присутності гідроксиду натрію. Цей процес призводить до утворення альдегідів, які далі гідрогенізуються для отримання пентаеритриту.



У реакції вуглекислого газу з гідроксидом натрію, окрім пентаеритриту, може утворюватися формиат натрію (HCOONa) як побічний продукт. Цей процес включає нейтралізацію мурашиної кислоти, яка може також бути присутня в системі, або в результаті проміжних реакцій.

Реакція нейтралізації:



Виробництво формиату натрію внаслідок побічних реакцій у процесі виготовлення пентаеритриту має також свої екологічні аспекти. Залучення побічних продуктів у промисловість зменшує відходи та використання нових сировин, сприяючи більш стійкому розвитку. Промисловість повинна забезпечити ефективні методи утилізації формиату натрію, щоб мінімізувати його вплив на навколишнє середовище, забезпечуючи одночасно економічну вигоду від його використання.

Реакція хлороформу з гідроксидом натрію.

У цьому методі форміат натрію отримують шляхом реакції хлороформу з гідроксидом натрію, зазвичай у присутності спиртового розчину. Це класичний приклад реакції галоформу, коли галогеновані вуглеводні (у цьому випадку хлороформ) розщеплюються в лужних умовах, утворюючи форміат натрію.

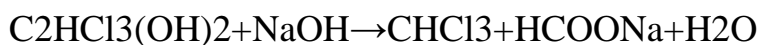


Хлороформ містить три атоми хлору, які поступово замінюються гідроксильними групами з гідроксиду натрію. Це призводить до утворення трігідроксиметильного проміжного продукту, який потім перебудовується і розщеплюється, утворюючи форміат натрію і хлорид натрію. Вода утворюється як побічний продукт.

Цей метод часто використовується, якщо хлороформ є в наявності або якщо його потрібно безпечно утилізувати шляхом перетворення на менш речовини. Процес є сильно екзотермічним, тому його необхідно проводити під контролем, часто в присутності спирту для покращення розчинності та кінетики реакції.

Реакція гідроксиду натрію з хлоралгідратом

Хлоралгідрат ($\text{C}_2\text{HCl}_3(\text{OH})_2$), трихлороетановий діол, реагує з гідроксидом натрію, утворюючи хлороформ і форміат натрію як основні продукти.



Гідроксид натрію діє на хлоралгідрат, розщеплюючи молекулу і генеруючи хлороформ і форміат натрію. Це гідролізна реакція, де одна з гідроксильних груп у хлоралгідраті заміщується на форміат-іон, утворюючи форміат натрію. Інша частина молекули перетворюється на хлороформ.

Ця реакція може бути використана для отримання як хлороформу, так і формиату натрію в одній реакції. Корисна в лабораторних умовах, де обидві сполуки можуть бути необхідні або коли надлишок хлоралгідрату потрібно перетворити в корисні хімічні речовини. Реакція протікає швидко в лужному середовищі, потребуючи лише невеликого підігріву [12].

РОЗДІЛ II.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Характеристика вихідної сировини

Монооксид вуглецю

Монооксид вуглецю — це безбарвний газ без запаху та смаку з хімічною формулою CO. Він належить до класу неорганічних сполук і утворюється в результаті неповного згоряння вуглецевих матеріалів при нестачі кисню. Його молекула складається з одного атома вуглецю й одного атома кисню, з'єднаних потрійним ковалентним зв'язком. Точка кипіння CO становить $-191,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а точка топлення — $-205,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Монооксид вуглецю є високотоксичною речовиною і небезпечним для людини та тварин, оскільки легко зв'язується з гемоглобіном у крові, утворюючи карбоксигемоглобін. Це знижує здатність крові переносити кисень, що може призвести до гіпоксії та навіть смерті при високих концентраціях. Через цю токсичність він часто називається «тихим вбивцею», оскільки не має запаху або кольору, тому його важко виявити без спеціальних приладів.

Попри токсичність, монооксид вуглецю має важливе промислове значення. Він є ключовим компонентом у синтез-газі (суміш CO і H_2), який використовують у хімічній промисловості для виробництва метанолу, синтетичного палива та інших органічних сполук. CO також використовують у металургії як відновлювач для отримання металів з їх оксидів, зокрема в процесі виплавки заліза.

Монооксид вуглецю також відіграє важливу роль у хімічних дослідженнях і реакціях, наприклад, у реакціях карбонілювання, де він взаємодіє з металами для створення металокарбонільних сполук.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.024.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 24/67

Такі реакції широко використовуються в органічній хімії для синтезу складних органічних молекул [13].

Гідроксид натрію

Гідроксид натрію, відомий також як їдкий натр, є сильною луговою сполукою, яка належить до класу основ. Гідроксид натрію представлений у вигляді білих кристалів або гранул, які легко розчиняються у воді, утворюючи лужний розчин з високим рН.

На молекулярному рівні NaOH складається з іонів натрію (Na^+) та гідроксид-іонів (OH^-). При розчиненні у воді гідроксид натрію дисоціює на ці іони, що робить його потужним агресором у хімічних реакціях. У промисловості гідроксид натрію отримують за допомогою електролізу водного розчину хлориду натрію за технологією, відомою як процес Халера—Бірта. В результаті цього процесу виділяється водень, хлор і гідроксид натрію, що забезпечує отримання продукту високої чистоти.

У контексті отримання формиату натрію, NaOH виступає в ролі основи, що нейтралізує мурашину кислоту. Ця реакція є важливим етапом у виробництві формиату натрію, оскільки дозволяє отримати стабільну сіль, яка використовується в багатьох галузях. Гідроксид натрію, реагуючи з мурашиною кислотою, утворює формиат натрію (HCOONa) — білу кристалічну речовину, що добре розчиняється у воді.

Важливою характеристикою гідроксиду натрію є його здатність до екзотермічної реакції при взаємодії з водою, що супроводжується виділенням тепла. Ця властивість підкреслює важливість дотримання техніки безпеки при його використанні. Крім того, гідроксид натрію активно реагує з багатьма органічними та неорганічними сполуками, включаючи вуглецеві кислоти, які зазвичай служать вихідними матеріалами в хімічних синтезах.

Завдяки своїм хімічним властивостям, гідроксид натрію не лише є сировиною для отримання формиату натрію, але й активно використовується в різних галузях промисловості. Він є основним компонентом у виробництві миючих

засобів, паперу, текстилю, а також у хімічній промисловості для синтезу інших сполук, таких як натрієві солі органічних кислот, фарбники та інші проміжні продукти [14].

Отриманий розчин кристалізується, після чого вологі кристали формиату натрію виділяють кип'ятінням та подальшим висушуванням. Якщо кількість води в розчині звести до мінімуму, під час реакції з оксидом вуглецю утворюється не формиат натрію, а осад каустичної соди, вкритий формиатом натрію, що ускладнює подальше очищення продукту. Однак, якщо підтримувати молекулярне співвідношення каустичної соди до формиату натрію близьким до 1:1, формиат натрію кристалізується безпосередньо з розчину, утворюючи суспензію.

Процес передбачає обробку розчину каустичної соди газом, що містить оксид вуглецю, за температури не вище 200 °С. При цьому кількість води має бути достатньою для утримання всієї каустичної соди в розчині. На наступному етапі реакція триває в умовах, що сприяють випаровуванню води, внаслідок чого відбувається одночасне осадження формиату натрію у вигляді твердих частинок.

Отриманий вологий твердий формиат натрію (з вмістом води не більше 30%) можна ефективно висушити, вводячи його в розплавлений формиат натрію, нагрітий до температури 260–300 °С. Вода випаровується, а безводний продукт затвердіває в заданій формі. Дотримання температурного режиму дозволяє уникнути розкладання формиату натрію.

При застосуванні цього методу частина суспензії з підвищеним вмістом води може бути рециркульована для подальшого контакту з оксидом вуглецю, що забезпечує економічність і ефективність процесу.

Якщо необхідно отримати продукт із мінімальним вмістом каустичної соди, твердий формиат натрію можна відфільтрувати. Далі суспензію рівномолекулярної каустичної соди промивають водою, у результаті чого

отримують очищений вологий твердий форміат натрію. Його вводять у басейн із розплавленим форміатом.

Промивна вода, що утворюється при очищенні форміату натрію, може бути використана повторно. Її можна вводити у розплавлений натрій або додавати до розчину каустичної соди, що контактує з вуглекислим газом та монооксидом вуглецю. У такому випадку сода і форміат натрію, які містяться в промивному розчині, взаємть із вуглекислим газом та каустичною содою, що знаходиться у розчині.

Таким чином, вода, що міститься в промивному розчині, залишається в процесі для остаточного відновлення форміату натрію та перетворення каустичної соди на форміат натрію. Водночас ця вода допомагає підтримувати каустичну соду в розчині під час первинної обробки оксидом вуглецю.

Необхідна для цього вода може подаватися або у вигляді розбавленого розчину каустичної соди, або як окрема добавка. Якщо використовується концентрований розчин каустичної соди, додаткове введення води буде залежати від конкретних умов реакції, зокрема від концентрації чадного газу. Наприклад, якщо чадний газ розбавлений, він виносить більше води з розчину при підвищеній температурі, ніж у разі використання концентрованого газу.

На останніх стадіях реакції випаровування води залежить від температури та кількості непоглинених газів, що контактують із водною реакційною сумішшю. Водночас на початковій стадії реакції наявна в розчині вода достатня для утримання абсорбованих компонентів.

Виробництво форміату натрію базується на реакції монооксиду вуглецю (CO) з розчином каустичної соди (NaOH). Газова суміш, що містить 4,25% CO (решта – азот і водень), пропускається через серію реакційних башт за температури 150°C і тиску 425 фунтів на квадратний дюйм.

У кожній башті відбувається контакт оксиду вуглецю з розчином каустичної соди, унаслідок чого утворюється суспензія форміату натрію з 15% вмістом води. Вода додається до процесу у вигляді промивної рідини,

отриманої після очищення кристалів формиату натрію, а також із зовнішнього джерела. Водночас частина води випаровується та виводиться у складі непридатних для використання газів.

Суспензія, що утворюється в останній башті, фільтрується для чого передаються у розплавлений, практично безводний натрієвий мат за температури 260–300°C для остаточного видалення вологи.

Процес отримання натрію формиату може бути модифікований для підвищення ефективності та екологічної безпечності. Зокрема, можливі такі вдосконалення:

- Використання більш розведеного розчину каустичної соди на початкових етапах реакції.
- Конденсація та повторне використання води, що виділяється з газоподібних побічних продуктів.
- Контроль температури для регулювання вмісту води у кінцевій суспензії:
при 100°C – 16–30%,
при 150°C – 12–22%,
при 200°C – 7–13%.
- Використання одно- або багатоступеневих реакційних колон для оптимізації процесу.
- Центрифугування для ефективного відокремлення кристалів натрію формиату від рідкої фази, що дозволяє зменшити втрати продукту та покращити якість кінцевого продукту.
- Завдяки можливості безперервної роботи процес залишається ефективним для промислового виробництва натрію формиату, хоча може здійснюватися і в періодичному режимі.

Основні стадії процесу

1. Отримання формиату натрію

На першому етапі чадний газ (CO) взаємодіє з розчином гідроксиду натрію (NaOH), що призводить до утворення формиату натрію (HCOONa). Реакція відбувається у реакційному апараті при контрольованій температурі та тиску. Для запобігання утворенню небажаних домішок використовується розведений розчин NaOH. Важливо підтримувати співвідношення реагентів, щоб уникнути надлишку луку та забезпечити максимальний вихід продукту.

2. Кристалізація

Отриманий розчин формиату натрію поступає у кристалізатор, де відбувається поступове стали HCOONa, які випадають у розчині.

Процес кристалізації може бути контрольованим для отримання продукту необхідної чистоти та розміру частинок.

3. Фільтрація

Суспензія формиату натрію подається на фільтраційну установку, де тверді частинки відокремлюються від маточного розчину. Це дозволяє зменшити вміст рідкої фази у продукті та підготувати його до подальшого зневоднення.

Маточний розчин, що залишився після фільтрації, може бути повторно використаний у виробничому циклі для підвищення ефективності процесу.

4. Центрифугування

Фільтрований формиат натрію подається у центрифугу, де відбувається інтенсивне видалення залишкової вологи. Високошвидкісне обертання сприяє механічному зневодненню продукту, що дозволяє суттєво знизити його вологість перед фінальним сушінням.

5. Сушіння

Заключним етапом є сушіння отриманого формиату натрію у сушильній установці при температурі 260–300°C. Цей процес забезпечує отримання кінцевого продукту із мінімальним вмістом вологи, що робить його придатним для зберігання та подальшого використання.

Контроль температурного режиму є важливим для запобігання термічному розкладу речовини..

Таким чином, вдосконалення гії завдяки введенню центрифугування на етапі очищення дозволяє значно підвищити чистоту та ефективність виробництва формиату натрію, знижуючи енергетичні витрати та забезпечуючи високий вихід якісного продукту [15].

Принципово-технологічна схема виробництва формиату натрію зображена на рисунку 2.1

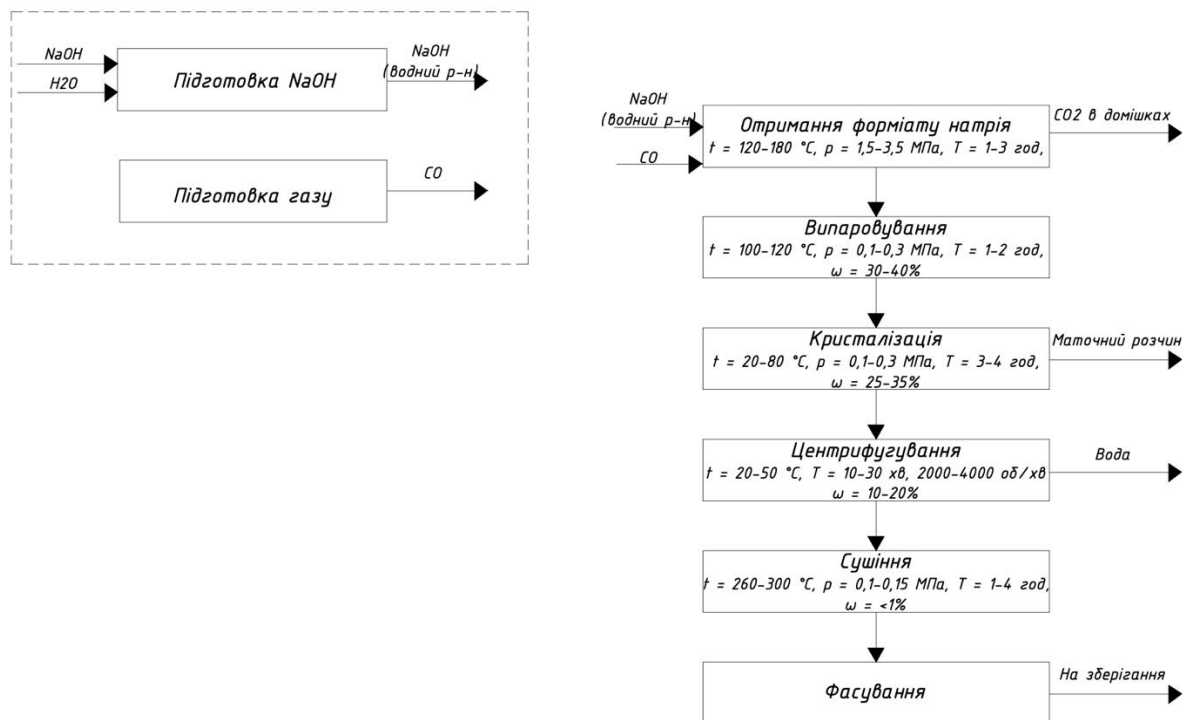


Рисунок 2.1 Принципово-технологічна схема виробництва формиату натрію
Розрахунок матеріального балансу виробництва

Розрахунок матеріального балансу проводиться для надходження 1000 кг/добу формиату натрію на виробництво.

1. Отримання формиату натрію

Під час внесення реагентів втрати становлять 0,5%

Таблиця 2.1

Матеріальний баланс стадії внесення в реакційну ємність

Прихід		Витрата	
Сировина	Маса, кг	Сировина	Маса, кг
СО	454,16		
NaOH	652,80	Втрати	5,53
Всього	1106,96	Всього	1106,96

2. Випаровування

Під час випаровування втрати складають 2%

Таблиця 2.2

Матеріальний баланс стадії випаровування

Прихід		Витрата	
Сировина	Маса, кг	Сировина	Маса, кг
Маточний розчин	1101,43	Маточний розчин	1079,4
		Втрати	22,03
Всього	1101,43	Всього	1101,43

3. Кристалізація

Під час кристалізації втрати складають 1,5%

Таблиця 2.3

Матеріальний баланс стадії кристалізації

Прихід		Витрата	
Сировина	Маса, кг	Сировина	Маса, кг
Маточний розчин	1079,4	Маточний розчин	1063,26
		Втрати	16,14
Всього	1079,4	Всього	1079,4

4. Центрифугування

Під час центрифугування

Таблиця 2.4

Матеріальний баланс стадії центрифугування

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, кг	Сировина	Маса, кг
СО	424,5	НСООНa	1015,3
NaOH	606,9	Втрати	15,3
Всього	1031,4	Всього	1031,4

5. Сушіння

Під час сушіння втрати складають 0,5%

Таблиця 2.5

Матеріальний баланс стадії сушіння

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, кг	Сировина	Маса, кг
СО	418,1	НСООНa	1010,1
NaOH	597,2	Втрати	5,2
Всього	1015,3	Всього	1015,3

6. Зберігання на складі

Під час транспортування для зберігання втрати складають 1%

Таблиця 2.6

Матеріальний баланс стадії фасування

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, кг	Сировина	Маса, кг
СО	416	НСООНa	1000
NaOH	594,1	Втрати	10,1
Всього	1010,1	Всього	1010,1

Для виробництва формиату натрію необхідне спеціалізоване обладнання, яке забезпечує високий рівень ефективності та безпеки.

Реактор з пропелерною мішалкою використовується для приготування розчину натрій гідроксиду. мішалці забезпечується рівномірне перемішування компонентів, що дозволяє швидко отримати однорідний розчин. Контроль температури та концентрації в реакторі сприяє підтриманню стабільності процесу.

Реактор для гетерофазних процесів є основним апаратом, у якому відбувається хімічна реакція між карбон оксидом і натрій гідроксидом. Особливістю цього реактора є можливість ефективного контакту між газовою та рідкою фазами, що підвищує ефективність утворення формиату натрію.

Відцентровий насос використовується для подачі карбон оксиду в реактор. Він забезпечує стабільний тиск і витрату газу, що дозволяє підтримувати постійні умови реакції та оптимальну швидкість процесу.

Випарна установка застосовується для згущення розчину формиату натрію перед подальшою кристалізацією. Вона працює шляхом видалення надлишкової вологи за допомогою випаровування, що дозволяє підвищити концентрацію основної речовини.

Гвинтовий насос використовується для транспортування концентрованого розчину формиату натрію з випарної установки до кристалізатора. Він забезпечує рівномірну подачу навіть при змінному тиску або високій в'язкості рідини.

Кристалізатор забезпечує процес утворення кристалів формиату натрію шляхом контрольованого охолодження або випаровування розчинника. Контроль температури, швидкості перемішування та насиченості розчину дозволяє отримати продукт із заданими характеристиками.

Центрифуга використовується для відокремлення твердих кристалів формиату натрію від рідкої фази. Завдяки високошвидкісному обертанню

забезпечується ефективно видалення залишкового розчину та отримання продукту з мінімальним вмістом вологи.

Норія виробничого процесу.

Сушарка призначена для остаточного видалення вологи з кристалів форміату натрію. Вона дозволяє отримати сухий, стабільний продукт, придатний для подальшого пакування, зберігання та транспортування.

Після сушіння продукт передається на *склад*, де він зберігається до подальшої упаковки. Склад оснащений системами для збереження якості продукту, запобігаючи його пошкодженню або втраті властивостей до транспортування [16-17].

Технічна характеристика даного обладнання наведена в таблиці 2.7

Таблиця 2.7

Технічна характеристика основного обладнання для виробництва форміату натрія

Назва	Призначення	Характеристика
Реактор з пропелерною мішалкою	Для приготування розчину натрій гідроксиду	Об'єм 1000 л, пропелерний змішувач, працює в мережі 380 В, оснащений системами контролю температури та рівня рН.
Реактор для гетерофазних процесів	Для проведення хімічної реакції між карбон оксидом і натрій гідроксидом	Об'єм 1500 л, забезпечує ефективний контакт газової та рідкої фаз, виготовлений з нержавіючої сталі, оснащений системами контролю температури та тиску.

Насос	Для подачі карбон оксиду в реактор	Потужність 5 кВт, забезпечує стабільну подачу газу з контролем тиску і витрати, працює в мережі 380 В.
Випарна установка	Для згущення розчину формиату натрію перед кристалізацією	Об'єм 800 л, виконана з корозійностійких матеріалів, оснащена системами контролю температури та рівня рідини.
Гвинтовий насос	Для транспортування розчину з випарної установки до кристалізатора	Потужність 3 кВт, працює в мережі 380 В, забезпечує безперервну подачу продукту навіть при змінному тиску.
Кристалізатор	Для кристалізації формиату натрію	Об'єм 500 л, виготовлений з нержавіючої сталі, оснащений системою контролю температури та концентрації.
Центрифуга	Для відділення твердої фази від рідкої	Об'єм 500 л, регульована швидкість обертання, забезпечує ефективне відділення нерозчинних домішок від рідини.
Норія	Для транспортування кристалів формиату натрію до сушарки	Виконана з нержавіючої сталі, обладнана механізмом для безперервного транспортування продукту.
Сушарка	Для видалення залишкової вологи з формиату натрію	Барабанного типу, об'єм 700 л, забезпечує рівномірне висушування продукту, оснащена

		системою контролю температури та вологості.
--	--	---

Суміш гідроксиду натрію та води подається до реактора з пропелерною мішалкою 1, де відбувається первинне приготування розчину натрій гідроксиду. На цьому етапі гідроксид натрію розчиняється у воді, утворюючи 40-% розчин, що є необхідним для подальшої хімічної реакції. Процес розчинення відбувається під впливом механічного змішування, що забезпечує рівномірний розподіл часток NaOH у воді та сприяє запобіганню осадженню.

Після підготовки розчину, лопатевими відцентровими насосами 2, 4 та 6 здійснюється його подача до трьох працюючих реакторів 3, 5 та 7, що є інноваційним технологічним кроком. Це забезпечує значно більший ступінь повноти реакції завдяки оптимальному використанню реакційної площі, що дозволяє значно підвищити ефективність процесу. В кожному реакторі, за температури 100-200°C та під контролем тиску, відбувається хімічна реакція між карбон оксидом і натрій гідроксидом, у результаті чого утворюється форміат натрію відповідно до рівняння.

Присутність форміату натрію в реакційній суміші має каталізаторний ефект, що покращує ефективність реакції, сприяючи подальшому збільшенню конверсії реагентів та зменшенню часового циклу. Реакція протікає в умовах, що оптимізовані для максимального виходу продукту, з контролем за параметрами температури (100-200°C) і тиску для досягнення найкращих результатів.

Після завершення основної реакції, отриманий розчин подається відцентровим насосом 8 до випарної установки 9. Випарювання здійснюється для видалення частини води та підвищення концентрації форміату натрію. Процес випаровування відбувається при температурі 100°C, що сприяє зниженню об'єму розчину та підвищенню його концентрації до рівня, коли

вміст води складає близько 30%. Це дозволяє створити умови для ефективної кристалізації в подальшому етапі.

Концентрований розчин потім подається гвинтовим насосом 10 до кристалізатора 11, де за температурного градієнту (початкова температура 80°C, кінцева — 20°C) утворюються кристали форміату натрію. Кристалізація є процесом, в якому, завдяки охолодженню, розчин стає насиченим і частини форміату натрію виходять у тверду фазу. Температурний перепад є важливим чинником для утворення кристалів, оскільки знижена температура зменшує розчинність продукту, що викликає його осадження у вигляді кристалів.

Отриману кристалічну суспензію перекачується гвинтовим насосом 12 до центрифуги 13, де за допомогою центрифугування відокремлюються тверді кристали форміату натрію від рідкої фази.

Далі очищені кристали форміату натрію транспортуються до норії 15, яка подає їх до барабанної сушарки 16. У сушарці здійснюється кінцеве висушування кристалів під вакуумом або за допомогою нагрівання до температури, достатньої для випаровування залишкової вологи. Сушіння дозволяє отримати сухі кристали, що відповідають вимогам щодо якості продукту, з мінімальним вмістом води.

Готові кристали форміату натрію, після завершення процесу сушіння, транспортуються на склад для подальшого зберігання, фасування та транспортування. Зберігання продукту здійснюється в оптимальних умовах для збереження його фізико-хімічних властивостей, до моменту його подальшого використання або реалізації.

Апаратурно-технологічна схема наведена на рисунку 2.2.

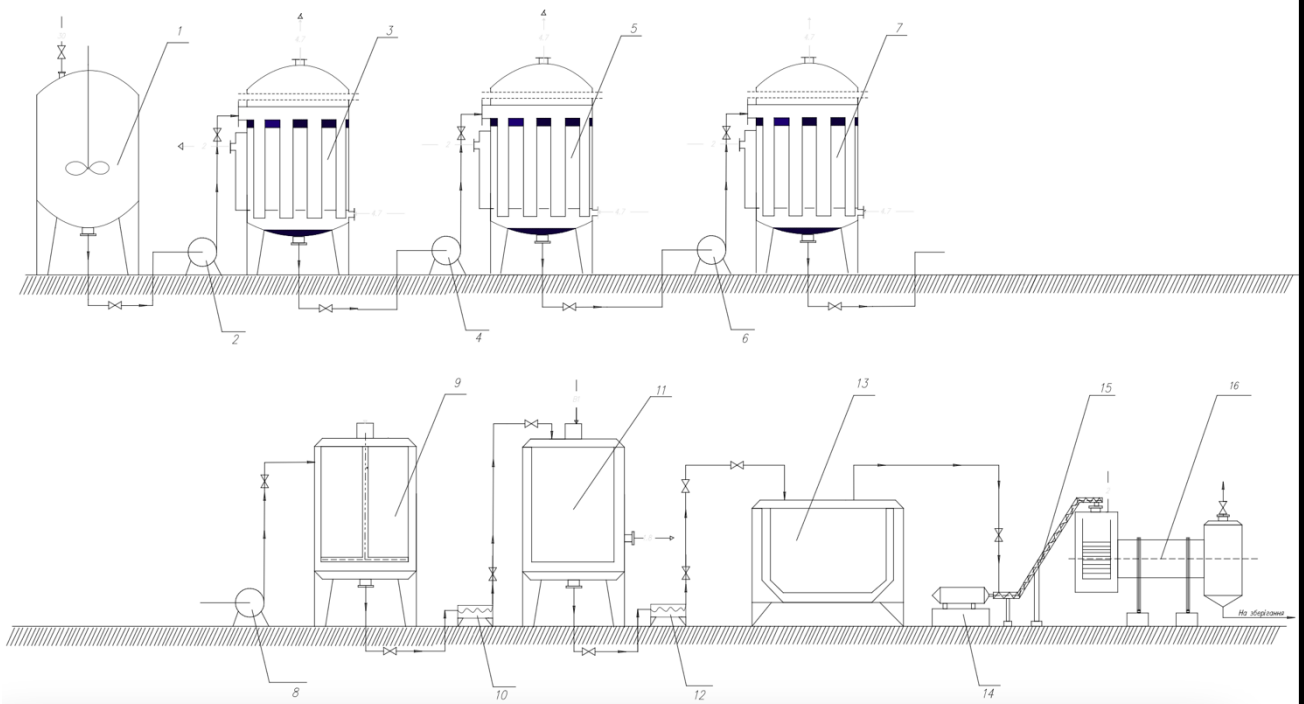


Рисунок 2.2 Апаратурно-технологічна схема отримання формиату натрію

Технологічний процес сушіння у барабанній сушарці (рис 2.3) базується на передачі тепла від теплоносія (повітря) до матеріалу, що висушується, з подальшим игляді парової фази.

Основним елементом установки є барабан, що здійснює обертальні рухи за допомогою зубчастого вінця, який знаходиться в зачепленні із зубчастим колесом. Привід забезпечується електромотором через редуктор, що дозволяє регулювати швидкість обертання барабана, оптимізуючи процес сушіння залежно від фізико-хімічних характеристик матеріалу.

Вологий матеріал подається в сушарку через дозатор, що забезпечує рівномірний розподіл сировини та стабільний потік для рівномірного висушування. Початкова вологість матеріалу становить 18%, а кінцева – 5%. Процес висушування відбувається завдяки безпосередньому контакту матеріалу з потоком гарячого повітря, що виконує роль теплоносія. Повітря подається в калорифер за допомогою вентилятора, де воно нагрівається до необхідної температури. У калорифері використовується паровий теплообмінник, де пар віддає тепло повітрю, конденсуючись у рідку фазу.

Конденсат відводиться через конденсатовідвідник, оснащений запірною арматурою для едення конденсату.

Гаряче повітря надходить у сушильний барабан, де взаємодіє з матеріалом, поглинаючи вологу та утворюючи запилений вологий газовий потік. Вологе повітря виводиться через одноступінчатий циклон, що здійснює відокремлення частинок висушеного матеріалу. Очищене повітря викидається в атмосферу через випускний трубопровід [18].

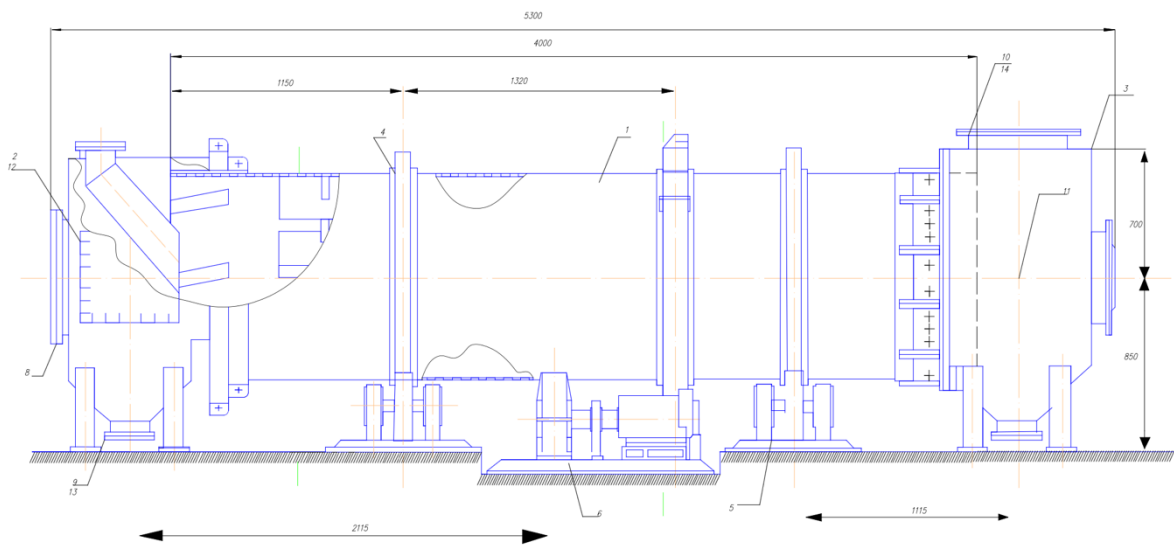


Рисунок 2.3 Барабанна сушарка

Розрахунок барабанної сушарки

Вихідні дані:

Початкова = 10%

Кінцева вологість: $\omega = 1\%$

Насипна густина, кг/м³, $\rho_n = 650$ кг/м³

$G_1 = 1000$ кг/год

Розрахунок:

Продуктивність барабанної сушарки по висушеному матеріалу можна визначити за формулою:

$$G_2 = G_1 \times \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} = 1000 \times \frac{100 - 10}{100 - 1} = 909,09 \text{ кг/год} \quad (2.1)$$

Кількість випаруваної води:

$$W = G_1 - G_2 = 1000 - 909,09 = 90,91 \text{ кг/год} \quad (2.2)$$

Час сушіння матеріалу в барабанних сушарках:

$$\tau = 120 \times \frac{\beta \rho_n}{A} \times \frac{\omega_1 - \omega_2}{200 - (\omega_1 + \omega_2)} = 120 \times \frac{0,2 \times 650}{50} \times \frac{9}{200 - 11} = 14,85 \text{ хв} \quad (2.3)$$

РОЗДІЛ ІІІ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Як відомо залежно від характеру виробів і послуг, особливостей організації й технології їх виробництва розрізняють два основних методи калькулювання собівартості продукції:

- метод послідовного підсумовування прямих витрат і витрат, що розподіляються, по видах продукції (позамовна калькуляція);

- метод розподілу (поділу) сукупних витрат по калькульованих об'єктах, заснований на групуванні витрат по процесах (періодах, стадіях, фазах) виробництва (попроцесна калькуляція).

Попроцесна калькуляція в основному використовується в таких галузях, як нафтова, вугільна, хімічна, паперова, виробництво електроенергії, будматеріалів, скла і харчових продуктів [19].

Розрахунок продуктивності цеху проводиться для виробництва форміату натрія продуктивністю 1000 кг /добу, що працює у дві зміни без зупинки на вихідні та святкові дні. Кількість робочих днів в році визначаємо за формулою :

$$A = 365 - (D_v + D_k + D_o + D_s)$$

де D_v - кількість вихідних днів у році при безперервній роботі;

$$D_v = 0 \text{ днів};$$

D_k - кількість днів, які плануються на капітальний ремонт; $D_k = 24$ днів;

D_o - кількість днів, які плануються на профілактичний огляд та ремонт обладнання; $D_o = 22$ дні;

D_s - кількість святкових днів; $D_s = 0$ днів.

Підставляємо значення у формулу і визначаємо кількість днів у році:

$$A = 365 - (0 + 24 + 22 + 0) = 319 \text{ днів}$$

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.041.КР.ІІЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 41/67

$$A_{річ} = P_{факт} \cdot A$$

де А - кількість робочих днів у році; А = 319 днів;

Фактичний обсяг виробництва розраховується за формулою 3.1:

$$P_{факт} = P_{доб} \cdot K_{вик} \quad (3.1)$$

де $K_{вик}$ – коефіцієнт використання потужності (нормативне значення 0,8).

Фактичний добовий обсяг виробництва форміату натрія складе:

$$P_{факт} = 1000 \cdot 0,8 = 800 \text{ кг}$$

Таблиця 3.1

Розрахунок витрат на реагенти

Сировина та матеріали	Одиниця виміру	Норми витрат	Ціна одиниці сировини, грн	Сума, грн
Природний газ	м ³	448,6	19,50	8747,7
Розчин NaOH (40%)	л	551,4	60	33084
Всього		1000		41832

Підставляємо значення у формулу і проводимо розрахунок:

Витрати на 1000 кг сировини для виготовлення форміату натрія становлять 41832 грн.

Транспортно-заготівельні витрати на сировину становлять 5 %:

$$41832 \cdot 0,05 = 2091,6 \text{ грн}$$

Отже, загальні витрати дорівнюють:

$$41832 + 2091,6 = 43923,6 \text{ грн}$$

Енерговитрати на виробництво форміату натрію методом високотемпературної конверсії газу масою 1000 кг дорівнюють 1800 кВт [20]. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України ціна за

електроенергію в 2025 році складає 9,3122 грн. (з ПДВ) за 1 кВт/год. незалежно від об'єму споживання.

Виходячи з цього, вартість витрат за витрачену електроенергію становить:

1800 · 96761,96 грн

Розрахунок основної заробітної плати працівників.

Відомо, що за одну добу випускають 800 кг готового продукту – форміату натрія Тривалість зміни на виробництві становить 12 год, кількість робочих днів – 319. Враховуючи, що виробництво працює цілодобово, робітники працюють в 2 зміни: I зміна – 8:00 – 20:00, II зміна – 20:00 – 8:00.

Тарифні ставки для працівників різного розряду розраховують множенням ставки працівника I-го розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. Згідно закону про державний бюджет на 2025 рік, мінімальна зарплата становить 8000 грн. Тарифний коефіцієнт для працівників II розряду

складає – 1,09, для III —1,18, для IV – 1,27, для VIII – 1,64.

від годинної тарифної ставки за кожну годину роботи.

Заробітна плата для працівника I-го розряду, враховуючи мінімальну заробітну плату, буде становити:

$8000/160 = 50$ грн/год

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника

II-го розряду I зміни складе:

$50 \cdot 1,09 = 54,5$ грн/год

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника

III-го розряду I зміни складе:

$50 \cdot 1,18 = 59$ грн/год

Заробітна плата за погодинною системою оплати

IV-го розряду I зміни складе:

$$50 \cdot 1,27 = 63,5 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника

VIII-го розряду складе:

$$50 \cdot 1,64 = 82 \text{ грн/год}$$

Таблиця 3.2

Розрахунок річного ефективного фонду робочого часу одного робітника

Показники	Результати
Календарний фонд часу, дні	365
Вихідні та святкові дні	0
Кількість днів, які плануються на капітальний ремонт	24
кількість днів, які плануються на профілактичний огляд та ремонт обладнання	22
Номінальний фонд робочого часу, дні (кількість днів роботи підприємства за рік)	319
Планові невиходи на роботу в середньому одним робітником за рік, дні з них:	30
чергові відпустки	24
у зв'язку з лікарняними	3
з інших причин	3
Дні, які відпрацьовує один робітник у середньому за рік	289
Середня тривалість робочого дня, год	11
Кількість годин які відпрацьовує один робітник у середньому за рік	3179

Розрахунокі по статті «Додаткова заробітна плата»

Додаткова заробітна плата становить 25% від ОЗП, тоді

$$E=0,25 \cdot 4147=1036,75 \text{ грн/за зміну}$$

Загальний фонд заробітної плати $4147 + 1036,75 = 5186,75$ грн/за зміну

Розрахунок по статті «22 % від загального фонду заробітної плати (основна заробітна плата + додаткова заробітна плата) [21].

Всього витрати по статті «Відрахування єдиного соціального внеску»:

$$5186,72 \cdot 0,22 = 1140,43 \text{ грн/за зміну}$$

Таблиця 3.3

Розрахунок витрат по статті "Основна заробітна плата робітників"

Професія робітника	Розряд	Кількість	Годинна тарифна ставка	Заробітна плата одного працівника, грн/зміну	Заробітна плата працівників зміни, грн/зміна
Інженер-технолог	VIII	1	82	902	902
Апаратник	IV	2	63,5	698,5	1397
Оператор лінії	III	2	59	649	1298
Підсобний робітник	I	1	50	550	550
Всього		6		2799,5	4147

Розраховуємо витрати «Витрати пов'язані з підготовкою і освоєнням виробництва продукції»

Витрати по цій статті приймаємо в розмірі 5 % від розміру заробітної плати основних робітників, що займаються виробництвом даного виду продукції

$$4147 \cdot 0,05 = 207,35 \text{ грн}$$

Витрати по цій статті приймаємо в розмірі 120 % від розміру заробітної плати основних робітників, що займаються виробництвом даного виду продукції.

$$4147 \cdot 1,2 = 4976,4 \text{ грн}$$

Розраховуємо витрати «Загальновиробничі витрати»

Витрати по цій статті приймаємо в розмірі 260 % від розміру заробітної плати основних робітників, що займаються виробництвом даного виду продукції

$$4147 \cdot 2,6 = 10782,2 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість форміату натрія становить

$$43923,6 + 16761,96 + 4147 + 1036,75 + 1140,43 + 4976,4 + 207,35 + 10782,2 = 82976 \text{ грн/зміну}$$

Сума адміністративних витрат складає 2,0 % від виробничої собівартості:

$$82976 \cdot 0,02 = 16595,2 \text{ грн/зміну}$$

Витрати на збут складають 3,0 % від виробничої собівартості:

$$82976 \cdot 0,03 = 2489,28 \text{ грн/зміну}$$

Всі інші операційні витрати складають 1% від виробничої собівартості:

$$82976 \cdot 0,01 = 829,76 \text{ грн/зміну}$$

Повні витрати складають:

$$82976 + 16595,2 + 2489,28 + 829,76 = 102890,24 \text{ грн/зміну}$$

Повні ти на виробництво за рік будуть становити:

$$102890,24 \cdot 319 = 32821986,56 \text{ грн}$$

Рентабельність виробництва становить 10%, отже прибуток буде складати:

$$32821986,56 \cdot 0,1 = 3282198,656 \text{ грн}$$

Загальна сума, без урахування ПДВ дорівнює:

$$32821986,56 + 3282198,656 = 36104185,216 \text{ грн}$$

ПДВ складає 20%:

$$36104185,216 \cdot 0,2 = 7220837 \text{ грн}$$

Загальна сума, з урахуванням ПДВ буде складати:

$$36104185,216 + 7220837 = 43325022,216 \text{ грн}$$

Розрахуємо вартість 1 кг товарного форміату натрія:

$$43325022,216 / (1000 \cdot 319) = 135,82 \text{ грн}$$

Отримана ціна відповідає середнім цінам на ринку, що дозволяє зробити висновок про доцільність обраного способу виробництва форміату натрія [22].

Таблиця 3.4

Розрахунок собівартості 1 кг товарного форміату натрія

Стаття собівартості		Вартість, грн.
1	Сировина і основні матеріали	41832
2	Енерговитрати на виробництво	16761,96
3	Транспортно-заготівельні витрати на сировину	2091,6
4	Основна заробітна плата за зміну	4147
5	Додаткова заробітна плата	1036,75
6	Відрахування єдиного соціального внеску	1140,43
7	Витрати пов'язані з підготовкою та освоєнням виробництва продукції	207,35

8	Витрати на утримання та експлуатацію машин і обладнання	4976,4
9	Загальновиробничі витрати	10782,2
10	Цехова собівартість	82976
11	Адміністративні (загальногосподарські) витрати	16595,2
12	Витрати на збут	2489,28
13	Інші витрати	829,76
14	Повна собівартість за зміну/за рік	102890,24/32821986,56
	Вартість 1 кг товарного форміату натрія	135,82

РОЗДІЛ IV. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Контроль якості форміату натрію регулюється міжнародними та національними стандартами, які встановлюють вимоги до фізико-хімічних характеристик, складу, безпеки, маркування та методів випробувань. Дотримання цих норм гарантує, що продукт буде відповідати вимогам споживачів, промислових підприємств та регуляторних органів.

Стандарт ISO 9001 визначає основні вимоги до системи управління якістю), які повинні бути впроваджені на підприємстві. Він не містить конкретних вимог до продукції, але забезпечує ефективність процесів контролю якості. Основні аспекти, які регулює ISO 9001:

- Стабільність якості продукції – кожна партія форміату натрію повинна відповідати встановленим нормам без відхилень.
- Відстежуваність продукції – кожен етап виробництва має бути задокументований для аналізу та можливих коригувань.
- Контроль виробничих процесів – регулярна перевірка відповідності технологічних операцій.
- Коригувальні дії – якщо виявлено дефект або відхилення, підприємство має вживати заходів для усунення проблеми та запобігання її повторенню [23].

Форміат натрію може застосовуватися у харчовій промисловості як добавка (консервант або регулятор кислотності), тому важливо дотримуватися вимог безпеки. Стандарт ISO 22000 Система управління безпечністю харчових продуктів визначає такі ключові вимоги: система аналізу ризиків і критичних контрольних точок (НАССР) – виявлення та усунення можливих загроз для здоров'я споживачів; контроль умов виробництва, запобігання забрудненню продукту під час його виготовлення, транспортування та зберігання;

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.031.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 50/67

форміат натрію повинен вироблятися з чистих та безпечних компонентів [24].

Codex Alimentarius регламентує якість і безпечність харчових добавок, включаючи форміат натрію. Він містить вимоги щодо допустимого рівня домішок; максимальної концентрації форміату натрію в продуктах; безпечних умов використання в харчовій промисловості.

В кожній країні контроль якості форміату натрію може регулюватися власними нормативними документами. В Україні контроль якості форміату натрію здійснюється відповідно до Державних стандартів України (ДСТУ), а також нормативних документів у сфері безпеки хімічних речовин.

Також продукція повинна відповідати вимогам:

ГОСТ 5848-73 – стандарт, що визначає технічні умови для форміату натрію в країнах СНД.

Санітарні норми і правила України – контроль вмісту небезпечних домішок та безпечності використання.

У Європейському Союзі форміат натрію зареєстрований як добавка під кодом E237 і регулюється Регламентом (ЄС) № 1333/2008 щодо використання харчових добавок. Основні вимоги включають:

- максимально допустимі концентрації у харчових продуктах;
- оцінку безпечності для здоров'я споживачів;
- маркування відповідно до вимог Регламенту (ЄС) № 1169/2011 про інформацію для споживачів [26].

У США якість форміату натрію контролюється Управлінням з контролю за продуктами і ліками (FDA). Він входить до списку GRAS (Generally Recognized as Safe) – речовин, визнаних безпечними для застосування. Основні нормативні документи:

21 CFR 186.1750 – вимоги до харчової безпечності.

21 CFR 573.640 – допустиме використання у кормах для тварин.

Контроль якості форміату натрію базується на ряді фізико-хімічних, токсикологічних і органолептичних характеристик. Ці показники визначають

придатність продукту для використання в різних галузях, включаючи хімічну, харчову, фармацевтичну, текстильну та нафтохімічну промисловість [27].

Фізико-хімічні властивості визначають чистоту формиату натрію, його формиат натрію: $\geq 95-98\%$

- Хімічно чистий формиат натрію: $\geq 99\%$
- Фармацевтичний та харчовий формиат натрію: $\geq 99,5\%$

Чим вищий рівень чистоти, тим ширше застосування речовини, особливо в чутливих сферах, таких як харчова та фармацевтична промисловість.

Вміст води (вологість)

Норма: $\leq 1\%$

Висока вологість може спричинити злежування порошку та зниження його якості.

Рівень рН (10% водний розчин)

Оптимальний діапазон: 6,5 – 8,5

Відхилення від цього показника може вказувати на присутність небажаних кислотних або лужних домішок.

Залишковий вміст кислоти (мурашиної кислоти, HCOOH)

Норма: $\leq 0,1\%$

Підвищений вміст кислоти може спричинити небажані хімічні реакції, зокрема у фармацевтичному або харчовому виробництві.

Розчинність у воді

Форміат натрію є добре розчинним у воді, що робить його зручним для використання у водних розчинах.

Нерозчинний у більшості органічних розчинників.

Вміст важких металів

Свинцю (Pb): ≤ 10 ppm

Кадмію (Cd): ≤ 1 ppm

Миш'яку (As): ≤ 2 ppm

Ртуті (Hg): ≤ 1 ppm

Значення цих показників критично важливі для безпеки продукту, особливо якщо формиат натрію використовується в харчовій або фармацевтичній промисловості.

Зовнішній вигляд

Білий або злегка жовтуватий кристалічний порошок або гранули.

. Наявність різкого запаху може свідчити про домішки мурашиної кислоти.

Легко поглинає вологу з повітря, тому потребує герметичного зберігання.

Вважається малотоксичним. LD50 для щурів: $\geq 10\ 000$ мг/кг, що вказує на низьку гостру токсичність.

Форміат натрію легко розкладається у природних умовах, що робить його екологічно безпечним. Не накопичується у водних екосистемах. Не створює значного ризику для флори та фауни.

Показники стабільності та зберігання

Температура розкладання $\geq 400^{\circ}\text{C}$ – при нагріванні розкладається на натрій, вуглекислий газ і водень.

Термін зберігання 1–3 роки (залежно від умов зберігання).

Умови зберігання: сухе, прохолодне місцев температурою не вище 25°C .

Герметична упаковка для запобігання поглинанню вологи.

Основні вимоги до маркування

Назва продукту – Форміат натрію (Sodium Formate, NaHCOO).

Чистота (наприклад, 98% або 99%).

Номер партії та дата виготовлення.

Умови зберігання (в сухому місці, у герметичній тарі).

Попереджувальні знаки про можливі ризики (якщо продукт технічний) [28].

Контроль якості формиату натрію передбачає декілька послідовних етапів, починаючи від перевірки сировини і закінчуючи тестуванням готового продукту перед відправленням споживачам. Ці етапи забезпечують відповідність продукту встановленим нормативним вимогам і стандартам безпеки.

Перед початком виробництва проводиться ретельна перевірка вихідної сировини, яка використовується для синтезу формиату натрію. Основними компонентами є натрієві сполуки (наприклад, гідроксид натрію або карбонат натрію) та мурашина кислота.

– відповідність нормативним показникам; фізичні властивості – колір, вологість, гранулометричний склад; безпека сировини – відсутність токсичних домішок та важких металів. Лише після підтвердження якості сировини вона допускається до використання у виробництві.

На кожному етапі виробництва проводиться моніторинг параметрів синтезу та очищення формиату натрію.

Критичні точки контролю:

- Реакція нейтралізації – контроль температури, часу реакції, рН розчину.
- Кристалізація або випарювання – забезпечення рівномірного утворення продукту.
- Сушка – контроль вологості, щоб уникнути надмірного злежування.
- Фільтрація та очищення – перевірка наявності нерозчинних домішок.

Контроль здійснюється за допомогою автоматичних датчиків, а також лабораторних аналізів проб. Після завершення виробництва проводиться всебічний аналіз готового формиату натрію.

Основні випробування:

Фізико-хімічний аналіз

Визначення чистоти продукту (масова частка NaHCOO).

Вимірювання рівня рН у водному розчині.

Визначення залишкового вмісту мурашиної кислоти.

Перевірка вмісту води та гігроскопічності.

Аналіз на важкі метали - контроль вмісту Pb, Cd, As, Hg відповідно до нормативних документів.

Органолептичні характеристики

Візуальна оцінка зовнішнього вигляду.

Перевірка відсутності стороннього запаху та механічних включень.

Термостійкість та стабільність ратурах.

Визначення стійкості до зберігання у вологих умовах.

Продукт, який не відповідає хоча б одному з критеріїв, підлягає доопрацюванню або утилізації. Перед відправленням продукції споживачам перевіряється правильність упаковки та маркування, що є важливим для транспортування та зберігання. Основні критерії перевірки – відсутність пошкоджень, герметичність тари; відповідність стандартам, наявність усієї необхідної інформації (найменування продукту, чистота, дата виготовлення, умови зберігання, номер партії, виробник); використання вологонепроникних мішків або контейнерів.

Перед комерційною реалізацією продукція проходить тестування на стабільність при зберіганні та транспортуванні: стабільність при зміні температури; гігроскопічність при підвищеній вологості; вплив механічних навантажень (стиснення, струшування).

Якщо форміат натрію втрачає свої властивості в процесі зберігання або транспортування, технологія виробництва переглядається. На завершальному етапі контрольна комісія оцінює відповідність продукту всім стандартам якості перед випуском на ринок. Продукція, що відповідає всім вимогам, отримує сертифікати відповідності. Якщо виявлені недоліки, партія або переробляється, або вилучається з обігу.

Аналіз якості форміату натрію здійснюється за допомогою різних методів, що дозволяють оцінити його чистоту, фізико-хімічні властивості, вміст домішок і відповідність нормативним вимогам. Для цього використовують хімічні, фізико-хімічні, спектроскопічні, хроматографічні та мікробіологічні дослідження.

Одним із найпоширеніших хімічних методів є ацидиметричне титрування, яке дає змогу визначити чистоту форміату натрію. Під час аналізу зразок взаємодіє з сильною кислотою, наприклад, соляною, а зміна кольору індикатора допомагає встановити точну концентрацію основної речовини. Також

використовується гравіметричний метод, який дозволяє визначити вміст вологи, оскільки надлишкова вода може впливати на фізичні властивості продукту.

Серед фізико-хімічних методів часто застосовується рН-метрія, що дає можливість ати в межах нормативних значень. Для оцінки електропровідності розчину використовується кондуктометрія, яка допомагає виявити сторонні електроліти, що можуть свідчити про домішки.

Для більш детального аналізу можуть використовуватися спектроскопічні методи. Наприклад, інфрачервона спектроскопія (ІЧ-спектроскопія) дозволяє підтвердити наявність функціональних груп у складі форміату натрію, а ультрафіолетова спектроскопія (УФ-спектроскопія) допомагає виявити домішки органічних речовин. У випадках, коли необхідно визначити вміст важких металів, застосовують атомно-абсорбційну спектроскопію (ААС), що дозволяє з високою точністю визначити навіть сліди токсичних елементів.

Якщо необхідно перевірити чистоту продукту щодо органічних домішок, застосовується високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) або газова хроматографія (ГХ). Ці методи дозволяють розділити та ідентифікувати навіть найменші кількості сторонніх речовин, які можуть бути присутні в складі форміату натрію.

Окремо чи харчовій промисловості. Для цього досліджується наявність бактерій, грибів та інших мікроорганізмів, що можуть впливати на безпечність продукту.

Завдяки поєднанню різних методів аналізу можна не лише підтвердити якість форміату натрію, а й забезпечити його відповідність усім встановленим вимогам і стандартам [29].

РОЗДІЛ V. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Виробництво форміату натрію має кілька важливих екологічних аспектів, що пов'язані з використанням хімічних реагентів, енергоспоживанням і відходами, що утворюються в процесі. Технологічні процеси повинні бути оптимізовані з урахуванням мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище, щоб забезпечити сталий розвиток виробництва.

Монооксид вуглецю, що використовується в процесі синтезу форміату натрію, є токсичним і може бути шкідливим для здоров'я людини та довкілля, якщо потрапляє в атмосферу. Тому для контролю викидів CO в атмосферу застосовуються спеціальні системи фільтрації та каталізатори, які допомагають нейтралізувати гази перед викидом. Викиди газу — ще один екологічний аспект, адже газ також може бути побічним продуктом, особливо якщо використовуються неефективні джерела енергії або недостатньо контрольовані технологічні процеси [30].

Гідроксид натрію (NaOH), який використовується в реакціях, є сильним лугом і може бути шкідливим для водних екосистем, якщо його скинути без належної нейтралізації. Тому важливо контролювати скидання стоків, а також використовувати методи очищення води перед її поверненням у навколишнє середовище. Якщо на виробництві не забезпечується належне зберігання хімічних речовин, це може призвести до забруднення ґрунту та води, що погіршує якість навколишнього середовища.

Продукти, що утворюються в процесі виробництва (наприклад, залишки NaOH або CO), повинні бути правильно утилізовані. Залишки реагентів можуть бути нейтралізовані та оброблені в безпечний спосіб, щоб запобігти забрудненню. Якщо утилізація відходів не здійснюється належним чином, це може призвести до утворення небезпечних відходів, таких як луги або токсичні гази.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ V.ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.031.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 57/67

Процес синтезу формиату натрію потребує значних енергетичних затрат, особливо якщо використовуються високі температури для реакцій. Це може призвести до збільшення викидів парникових газів, якщо енергетичне постачання базується на викопних джерелах застосування відновлюваних джерел енергії або впровадження енергоефективних технологій для зменшення викидів CO₂ [31].

У межах програми Ecoscale, яка оцінює екологічність хімічних процесів, виробництво формиату натрію отримало 67 балів, що є досить високим показником у плані екологічної безпеки (рис 5.1).

Ecoscale calculator

Reagents										
Link	identifier*	name	MF*	MW	density	purity*	ml	g	mmoles	equiv.
<input checked="" type="checkbox"/>	1	carbon monoxide	CO	28.0104		100%	0	4541600	162139776.65	2.483579381
	2	Sodium hydroxide	NaOH	39.99711		40%	0	6528000	65284716.820	1

Products										
identifier*	name	MF*	MW	g	mmoles	g theo	yield			
	Formic acidsodium salt	CHNaO2	68.00751	1000000	14704258.397	4439851.0320	22.5233			

Conditions										
Reagents	Name	mmoles	eq.	Bp	Hazard	Price				
	carbon monoxide	162.13	2.48							
	Sodium hydroxide	65.28	1	360						

Yield	100	0
Price / availability		-5
Safety		-10
Technical setup	Possible items: Any additional special glassware, (Inert) gas atmosphere, Glove box Selected items: Common set-up, (Inert) gas atmosphere	-1
Temperature / time	Possible items: Heating, > 1h, Cooling to 0°C, Cooling, < 0°C Selected items: Room temperature, < 1h, Heating, > 1h	-3
Workup and purification	Possible items: Sublimation, Liquid - liquid extraction or washing, Classical chromatography Selected items: Liquid - liquid extraction or washing, Crystallization and filtration	-4

EcoScale 77

Рис.5.1 Розрахунок екологічності процесу в програмі Ecoscale

Це означає, що процес синтезу формиату натрію має помірний вплив на навколишнє середовище, але ще є можливості для подальшого вдосконалення. Високий бал у програмі Ecoscale свідчить про те, що викиди та відходи контролюються, і використовуються системи фільтрації та нейтралізації. Використовуються ефективні методи обробки відходів і викидів, що знижує ризик забруднення. Технології, що використовуються, є досить енергоефективними, хоча є потенціал для подальшого зниження енергетичних витрат, наприклад, шляхом

інтеграції відновлюваних джерел енергії або використання більш ефективних каталізаторів.

Природні ресурси та навколишнє середовище повинні зберігатися, тому екологічні аспекти виробництва форміату натрію включають оптимізацію використання реагентів, зменшення викидів токсичних газів та правильне управління відходами. Оцінка в 67 балів за Ecoscale показує, що процес є досить екологічно безпечним, хоча існує потенціал для подальшого вдосконалення [32].

вимагає високого рівня безпеки та дотримання всіх норм охорони праці. Робота з токсичними газами, агресивними лугами та високими температурами створює потенційні ризики для здоров'я працівників, тому кожен етап виробництва повинен бути ретельно продуманий і контрольований.

Одним із ключових аспектів безпеки є захист від монооксиду вуглецю (CO), який використовується у . Оскільки цей газ є безбарвним, без запаху і надзвичайно токсичним, важливо забезпечити ефективну вентиляцію приміщень та встановити газоаналізатори, що контролюють його рівень у повітрі. У разі перевищення безпечної концентрації система автоматично вмикає примусову вентиляцію, а персонал отримує попередження про небезпеку. Встановлюються системи моніторингу концентрацій CO в робочих зонах, а також автоматичні системи вентиляції, які забезпечують постійну подачу свіжого повітря та виведення небезпечних газів [33]. Працівники повинні бути забезпечені респіраторами, що здатні фільтрувати токсичні гази, у випадку, якщо концентрація CO може бути небезпечною.

Гідроксид натрію (NaOH) є корозійним і може пошкодити шкіру, очі або дихальні шляхи. Для запобігання хімічним опікам та ушкодженням працівники повинні використовувати захисний одяг, включаючи: рукавички з матеріалів, що стійкі до лугів; спеціальні захисні окуляри або маски для захисту очей і обличчя; хімічно стійкий спецодяг, щоб запобігти прямому контакту з NaOH. У разі розливу хімічних речовин на поверхні або у приміщенні, повинна бути передбачена система для нейтралізації залишків NaOH, наприклад, шляхом використання розчинів, що нейтралізують луги.

Хоча форміат натрію сам по собі не є легкозаймистим, високі температури під час виробничого процесу (особливо у реакціях, що потребують нагрівання) можуть спричинити загрозу загоряння або вибуху. Необхідно забезпечити пожежну безпеку: наявність вогнегасників, спеціальних пожежних систем для запобігання загорянню, а також навчання персоналу щодо дій у разі виникнення пожежі. Для запобігання пожежам в приміщеннях з високою температурою має бути забезпечена належна термоізоляція та контроль за температурним режимом [34].

Оскільки в процесі виробництва форміату натрію використовується монооксид вуглецю, який є горючим газом, необхідно вжити заходів для запобігання вибухам. Окрім основних заходів безпеки, на виробництві форміату натрію діє ціла система додаткових заходів, спрямованих на зниження ризиків для здоров'я ажливих елементів є контроль мікроклімату та вентиляції. Оскільки виробництво може супроводжуватися виділенням газів та аерозолів, вентиляційні системи працюють у безперервному режимі, забезпечуючи швидке видалення потенційно небезпечних речовин. Крім того, в цехах підтримується оптимальна температура та вологість, що запобігає перегріву обладнання та утворенню конденсату, який може вступати у небажані хімічні реакції.

Особлива увага приділяється автоматизації процесів, що дозволяє мінімізувати контакт працівників із хімічними речовинами. Використання закритих реакторів, автоматичних дозаторів та дистанційного керування хімічними процесами значно зменшує ризик потрапляння токсичних речовин на шкіру чи в організм. Це не лише підвищує рівень безпеки, а й дозволяє досягти стабільної якості продукції [35].

Працівники повинні регулярно проходити навчання з безпеки праці, яке включає інструктажі щодо правильного використання захисного обладнання, реакцій на аварійні ситуації, а також надання першої допомоги. Вони повинні бути ознайомлені з усіма ризиками та небезпеками, пов'язаними з виробництвом форміату натрію, та бути здатні діяти у випадку аварійних ситуацій. Щоб гарантувати здоров'я працівників, впроваджено систему стану легень та крові на

вміст карбоксигемоглобіну, запроваджені заходи з моніторингу загального самопочуття персоналу.

Повинна бути розроблена і впроваджена система реагування на аварії, що містить:

- Наявність аптечок з засобами для надання першої допомоги (для обробки опіків або отруень).
- План евакуації персоналу у разі надзвичайної ситуації.
- Наявність аварійних запасів засобів для нейтралізації розлитих хімікатів і газів.

Потрібно також забезпечити тренування персоналу з правильних дій у надзвичайних ситуаціях, таких як витік газів, пожежа чи хімічний розлив.

Ще одним критично важливим аспектом є захист від хімічних бризок та аерозолів. Для цього персонал забезпечується герметичними захисними окулярами або повнолицевими масками, що запобігають потраплянню агресивних речовин в очі та дихальні шляхи. На території виробництва встановлені аварійні станції промивання очей та спеціальні душові кабінки для швидкого очищення шкіри у разі випадкового потрапляння хімікатів.

Протипожежні заходи також залишаються у фокусі уваги. Виробничі приміщення оснащені системами автоматичного пожежогасіння, газоаналізаторами та детекторами тепла, які миттєво реагують на зміну температури або концентрації потенційно небезпечних газів. Усі зони підвищеного ризику позначені відповідними знаками, а персонал проходить регулярні навчання з пожежної безпеки та евакуації.

Не менш важливим є документальне забезпечення охорони праці. Чітко регламентовані інструкції для кожного працівника містять алгоритми дій у разі виникнення аварійної ситуації.

Персонал проходить періодичні тренування з ліквідації потенційних загроз, а Охорона праці при виробництві форміату натрію охоплює ряд заходів для еки працівників та запобігання аваріям. Це вимагає використання персональних ограні навчання і реагування на аварії є важливими для підтримання безпеки на всіх етапах виробництва [36].

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз науково-технічної літератури вказав, що форміат натрію є сіллю мурашиної кислоти з вираженими відновними та буферними властивостями. Він добре розчиняється у воді, має низьку токсичність і широко використовується в різних галузях промисловості, зокрема в хімічному синтезі, текстильному виробництві, нафтовидобуванні та як екологічно безпечний реагент для антиобledenіння. У харчовій промисловості застосовується як консервант і регулятор кислотності. Вплив форміату натрію на організм людини залежить від концентрації та умов експозиції: у малих дозах він не є небезпечним, однак тривалий контакт або високі концентрації можуть спричинити подразнення шкіри та слизових оболонок.
2. Розроблена технологічна частина роботи включає в себе загальну технологічну схему отримання форміату натрію; виконаний розрахунок матеріального балансу виробництва; креслення барабанної сушарки та апаратурно-технологічна схема виробничого процесу форміату натрію.
3. Встановлено, що собівартість 1 кг форміату натрію за описаною методикою становить 135,82 грн.
4. Щодо охорони праці на виробництві форміату натрію, ключові заходи включають контроль за мікрокліматом, вентиляцією, використанням засобів індивідуального захисту (респіратори, рукавички, захисний одяг) та автоматизацію процесів для мінімізації контакту працівників із речовиною. Екологічні аспекти виробництва передбачають мінімізацію викидів у повітря, належну утилізацію відходів, очищення стічних вод та використання менш токсичних реагентів у технологічному процесі.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва ВИСНОВКИ	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.063.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 63/67

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Foodchemadditives.com. (2023). Sodium Formate powder, Sodium Formate suppliers and manufacturers, buy Sodium Formate price at -Foodchem. [online] Available at: <https://www.foodchemadditives.com/products/Sodium-formate> [Accessed 11 Jan. 2025].
2. European Food Safety Authority. (2019). Efficacy of sodium formate as a technological feed additive (hygiene condition enhancer) for all animal species. [online] Available at: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5645> [Accessed 11 Jan. 2025].
3. Ligazakon.net. (2025). ІПС ЛІГА:ЗАКОН - система пошуку, аналізу та моніторингу нормативно-правової бази. [online] Available at: https://ips.ligazakon.net/document/view/z970671?ed=2002_10_24 [Accessed 11 Jan. 2025].
4. Мар'яна Бондар (2023). ХАРЧОВІ ДОБАВКИ У ПРОМИСЛОВОСТІ. Modern engineering and innovative technologies, (27-01), pp.74–85.
5. Офіційний вебпортал парламенту України. (2020). Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 1333/2008 від 16 грудня 2008 року про харчові добавки. [online] Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_028-08#Text [Accessed 11 Jan.. 2025].
6. Офіційний вебпортал парламенту України. (2024). Про затвердження Санітарних правил і норм по застосуванню харчових добавок. [online] Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0715-96#Text> [Accessed 11 Feb. 2025].
7. PubChem (2024). Sodium formate. [online] Nih.gov. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/substance/?source=chemidplus&sourceid=0000141537> [Accessed 9 Nov. 2024].

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Хоменко Я.Р.	Назва, додаткова назва СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ	ННІХТ.ЗХТ-5-1.025.161.064.КР.ІІЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 29.11.2024	Мова ua	Аркуш 64/67

8. Johnson, W., Heldreth, B., Bergfeld, W.F., Belsito, D.V., Hill, R.A., Klaassen, C.D., Liebler, D.C., Marks, J.G., Shank, R.C., Slaga, T.J., Snyder, P.W. and Andersen, F.A. (2016). Safety Assessment of Formic Acid and Sodium Formate as Used in Cosmetics. *International Journal of Toxicology*, [online] 35(2 suppl), pp.41S54S.
9. Zachariassen, W.H. (1940). The Crystal Structure of Sodium Formate, NaHCO₂. *Journal of the American Chemical Society*, 62(5), pp.1011–1013. doi:<https://doi.org/10.1021/ja01862a007>.
10. Scientific Opinion on the safety and efficacy of ammonium formate, calcium formate and sodium formate when used as a technological additive for all animal species. (2015). *EFSA Journal*, 13(5).
11. Markila, P.L., Rettig, S.J. and Trotter, J. (1975). Sodium formate. *Acta Crystallographica Section B*, 31(12), pp.2927–2928.
12. Wang, Z.-L., Yan, J.-M., Wang, H.-L., Ping, Y. and Jiang, Q. (2012). Pd/C Synthesized with Citric Acid: An Efficient Catalyst for Hydron Generation from Formic Acid/Sodium Formate. *Scientific Reports*, 2(1).
13. PubChem (2022). *Carbon monoxide*. [online] pubchem.ncbi.nlm.nih.gov. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Carbon-monoxide>.
14. PubChem (2005). *Sodium hydroxide*. [online] [Nih.gov](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov). Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-hydroxide>.
15. Google.com. (1940). *US2281715A - Process for the production of sodium formate - Google Patents*. [online] Available at: <https://patents.google.com/patent/US2281715A/en> [Accessed 11 Feb. 2025].
16. Процеси та апарати хімічних виробництв: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини», освітня програма "Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини" / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Б.І. Дуда, А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко, Р.В. Кичак, Я.Г. Гоцький. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 116 с.

17. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій / Оніщук Оксана Олександрівна, Жолт Олександрович Кормош. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 155 с.
18. С.Й. Ткаченко. Сушильні процеси та установки / С.Й. Ткаченко, О.Ю. Співак. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 87 с.
19. Бойчик І.М. Економіка підприємства: підручник / І.М.Бойчик. – К.: Кондор – Видавництво, 2016. – 378 с
20. Бондаренко Н.М, Устименко А.К. Собівартість продукції: економічна сутність та її види. Науковий вісник Херсонського державного університету. 2015. Т. 2, № 11. С. 51–54.
21. Лебедєва А. М. Методичні аспекти аналізу рентабельності діяльності підприємства. Вісник ОНУ імені І.І.Мечнікова. 2012. Т. 17, № 2-4. С. 29–36.
22. Про Державний бюджет України на 2024 рік : Закон України від 09.11.2023 р. № 3460-IX
23. Graham, R.I. (2002). ISO 9001:1994 and ISO 9001:2000 compared. *Manufacturing Engineer*, 81(4), pp.168–169.
24. BOUTOU, O. (2019). ISO 22000:2018. *Agroalimentaire*.
25. Pothisiri, P. and Kongchuntuk, H. (2009). *Codex Alimentarius. Nutrition Reviews*, 54(11), pp.S149–S151.
26. Europa.eu. (2024). *gulation - 1333/2008 - EN - additives - EUR-Lex*. [online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1333/oj/eng>.
27. Burdock, G.A. and Carabin, I.G. (2004). Generally recognized as safe (GRAS): history and description. *Toxicology Letters*, 150(1), pp.3–18.
28. Muhammad Hanan Masood, Haleem, N., Shakeel, I. and Jamal, Y. (2020). Carbon dioxide conversion into the reaction intermediate sodium formate for the synthesis of formic acid. *Research on Chemical Intermediates*, 46(12), pp.5165–5180.
29. Kudryashova, O.S., Elokhov, A.M., Gordenchuk, A.D. and Lukmanova, L.M. (2018). SOLUBILITY IN THE TERNARY HCOONa – NaAn – H₂O SYSTEMS. *CHEMISTRY*, 8(2), pp.112–121.

30. Органічна хімія. Практикум. Методичний посібник для студентів спеціальності: 040106, Екологія та охорона навколишнього середовища. / Сливка М.В., Фаринюк Ю.І., Хрипак Н.П., Онисько М.Ю., Лендел В.Г. Ужгород: ВАТ «Патент», 2015. 158с.
31. Жук О.І. Екологічні аспекти інноваційного розвитку підприємств хімічної промисловості. Сєверодонецьк. С. 2.
32. Van Aken, K., Streckowski, L. and Patiny, L. (2006). EcoScale, a semi-quantitative tool to select an organic preparation based on economical and ecological parameters. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, [online] 2.
33. Крюковська О.А., Левчук К.О. Охорона праці в галузі (для хімічних спеціальностей) під редакцією к.т.н., доцента Толока А.О.: Навч. посібник. 2011. 230 с. 44.
34. Інструкція з охорони праці під час робіт з кислотами та їдкими речовинами, Україна. 6 с.
35. Xu, F., Yan, J., Wang, Y. and Liu, X. (2023). Mechanistic insight into efficient H₂ generation upon HCOONa hydrolysis. *iScience*, 26(4), p.106504.
36. Гандзюк, М.П. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навч. закладів / М. П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М. О. Халімовський; за ред. М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2004. – 408 с