

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

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

«До захисту в ЕК»  
Директор інституту ННІХТ  
\_\_\_\_\_ Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО  
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» червня 2022 р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри ТЖХТ  
\_\_\_\_\_ Тамара НОСЕНКО  
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» червня 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми Хімічна технологія  
на тему: Удосконалення технології виробництва карбаміду з аміаку та  
вуглекислого газу

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

\_\_\_\_\_ ГРИБ Віталія Володимирівна  
(ПРІЗВИЩЕ, Ім'я та По батькові повністю) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ РОМАНОВА Олеся Олександрівна  
(ПРІЗВИЩЕ, Ім'я та По батькові повністю) (підпис)

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

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

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

Здобувач(ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2022 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ ” 2022 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гриб Віталія Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології виробництва карбаміду з аміаку та вуглекислого газу

керівник роботи Романова Олеся Олександрівна, к.т.н., ст. викл.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “31”березня 2022 року № 168-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Продуктивність 90 000 тон на рік

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, охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В. к.т.н., доцент кафедри МАХтаФВ	05.05.2022	31.05.2022

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 01 квітня 2022 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	01.05.2022	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	02.05.2022-04.05.2022	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	05.05.2022-10.05.2022	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	11.05.2022-15.05.2022	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	16.05.2022-18.05.2022	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19.05.2022-24.05.2022	
7	РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	25.05.2022-29.05.2022	
8	ВИСНОВКИ	30.05.2022-31.05.2022	
9	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	02.05.2022-30.05.2022	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	03.05.2022-15.05.2022	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	10.05.2022-20.05.2022	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	01.06.2022-05.06.2022	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Віталія ГРИБ \_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олеся РОМАНОВА \_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

В даному курсовому проєкті: 86 сторінок; 14 рисунків; 16 таблиць; 29 використаних джерел.

Об'єктом дослідження є удосконалення технології виробництва карбаміду за технологією фірми «Стамікарбон».

Предметом дослідження є – карбамід харчова добавка (E937b) – антифламінг, глазуруючий агент, покращувач структури.

Мета проєкту: на основі аналізу літературних джерел розробити технологію отримання карбаміду з аміаку і діоксиду вуглецю. З оглядових джерел основними параметрами які впливають на утворення речовини це – тиск та температура. Головним апаратом виробництва є колона синтезу.

Отримані результати матеріального та теплового балансу можливо використовувати як для аналізу перспективи використання даного методу виробництва у порівнянні з іншими а також, для вдосконалення використаної технології.

Застосування даної речовини є поширеним у таких напрямках як: виробництво косметичних кремів, фармацевтиці, виробництві хлібобулочних виробів, виробництві будівельних матеріалів, сільському господарстві. На даний час найбільшою перспективою є застосування у косметичних засобах за рахунок його властивостей.

Ключові слова: КАРБАМІД, КАРБАМАТ, ДІОКСИД ВУГЛЕЦЮ, АМІАК, СИНТЕЗ.

## **ABSTRACT**

In this course project: 86 pages; 14 drawings; 16 tables; 29 sources used.

The object of the research is to improve the technology of urea production according to the technology of the company "Stamicarbon".

The subject of the study is - urea food additive (E937b) - antinflaming, glazing agent, structure improver.

The purpose of the project: based on the analysis of literature sources to develop a technology for producing urea from ammonia and carbon dioxide. From the review sources the main parameters that affect the formation of matter are pressure and temperature. The main apparatus of production is the synthesis column.

The obtained results of material and heat balance can be used both to analyze the prospects of using this method of production in comparison with others, as well as to improve the technology used.

The use of this substance is common in such areas as: production of cosmetic creams, pharmaceuticals, production of bakery products, production of building materials, agriculture. Currently, the greatest prospect is the use in cosmetics due to its properties.

Key words: UREA, CARBAMATE, CARBON DIOXIDE, AMMONIA, SYNTHESIS.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1 Історія виникнення.....	9
1.2 Карбамід та його властивості.....	12
1.3 Технології отримання .....	13
1.4 Фізико-хімічні основи синтезу. ....	14
1.5 Застосування .....	17
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Сировина .....	20
2.2 Принципово технологічна схема .....	23
2.3 Матеріальний баланс. ....	25
2.4 Тепловий баланс.....	39
2.5 Розрахунок та підбір основного обладнання.....	42
2.6 Опис апаратурно технологічної схеми .....	49
2.7 Розрахунок апарату .....	54
РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....	67
РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	70
4.1 Випробування які проводять: .....	70
4.2 Загальні вимоги: .....	70
4.3 Відбір проб:.....	71
РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	73
РОЗДІЛ VI ОХОРОНА ПРАЦІ.....	75
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	84

					<b>ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.006.КР.ПЗ</b>		
Змн.	Арк.Ар	№ докум.№	ПідписПі	Дата			
Розроб.		Гриб В.В.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романова О.О.			6	87	
Н. Контр.. Н.		Подобій О.В.			<b>ЗМІСТ</b>		
Затверд.		Носенко Т.Т.			НУХТ Каф. ТЖХТ		

## ВСТУП

Дана тема роботи є актуальною тому, що карбамід має широке застосування в різних галузях і досить простий спосіб виготовлення. В основному дана речовина використовується в сільському господарстві, але також знайшла місце у виробництві лаків, клеїв і навіть крему для шкіри. При більш детальному вивченні властивостей сечовини можливо поширити її застосування в різних галузях.

Технологію виробництва можливо вдосконалити за допомогою реконструкції та заміни деяких апаратів, опрацювавши відповідні джерела інформації.

Мета роботи є удосконалення технології виробництва карбаміду з аміаку та вуглекислого газу.

Об'єктом дослідження є технологія виробництва аміаку за обраною технологією.

Предметом дослідження є речовина карбамід; харчова добавка (E937b) – антифламінг, глазуруючий агент, покращувач структури. За нормальних умов пожаро- і вибухобезпечна не токсична речовина.

Завданням роботи є:

- пошук і підбір науково-технічної літератури з виготовлення та застосування карбаміду.
- Розробити принципово- технологічну схему.
- Розрахувати матеріальний та тепловий баланс.
- Виконати підбір обладнання. Розробити апаратурно-технологічну схему.
- Виконати конструкційні розрахунки випарного апарату.
- Проаналізувати вплив на навколишнє середовище.

					<i>ННХТ.ХТ-4-4.022.161.007.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гриб В.В.</i>			<b>ВСТУП</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Романова О.О.</i>					7	87
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О. В.</i>			<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

– Вказати заходи охорони праці на виробництві

Апробація результатів:

1)Гриб В. Огляд існуючих технологій виробництва карбаміду. Матеріали 88 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", Квітень – Травень 2022 р. – Київ: НУХТ. – Ч.2

2)Гриб В., Романова О. Огляд властивостей зволожуючого емульсійного крему з сечовиною. 88 International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution", April – May, 2022. Book of abstract. Part 2. NUFT, Kyiv.

					<b>ВСТУП</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Історія виникнення

Сечовина відкрита Руелєм у 1773 р. і ідентифікована Праутом у 1818 р.

[1]

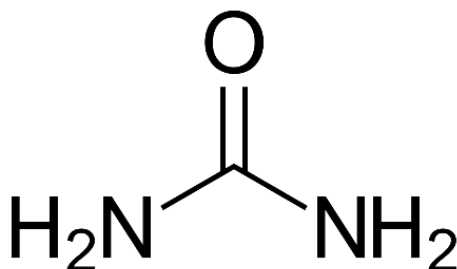
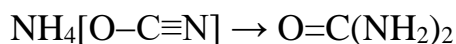
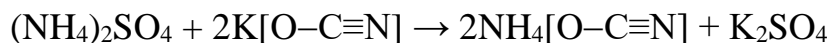


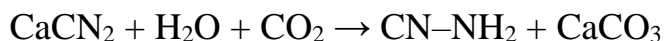
Рис. 1.1. Хімічна формула карбаміду

Карбамід, є першою органічною речовиною, яка отримана за допомогою синтезу з неорганічних речовин. У 1828 р. німецький хімік Ф. Велер відкрив реакцію взаємодії сульфату амонію з ціанатом калію:



Здійснений Ф. Велером синтез поклав початок розвитку органічної хімії і дозволив зруйнувати існування в той час віталістичне уявлення о життєвих процесах, що пояснювала їх наявність в живому організмі особливої «життєвої сили».

В подальшому було запропоновано декілька способів отримання карбаміду. Один з них полягає в гідратуванні ціанаміду кальцію у присутності двоокису вуглецю (або сірчаної кислоти) з утворенням ціанаміду:



					ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.009.КР.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гриб В.В.			АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романова О.О.					9	87
Н. Контр.		Подобій О.В.			НУХТ Каф. ТЖХТ			
Затверд.		Носенко Т.Т.						

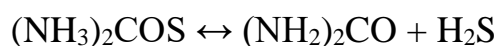
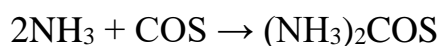
Після відділення  $\text{CaCO}_3$  розчин ціанаміду підкислюють сірчаною кислотою при температурі  $50-70^\circ\text{C}$  і абсолютному тиску 1-5 атм.

В результаті ціанамід гідролізується в сечовину:

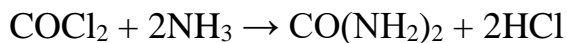


Процес протікає в освинцьованому автоклаві, в атмосфері інертного газу, на протязі 6 год. Цей спосіб внаслідок дорожнечі та нерентабельності не знайшов промислового застосування.

З високим виходом (до 94%) сечовина може бути отримана по реакції між аміаком і сіроокисом вуглецю. Спочатку утворюється тіокарбомат амонію, який при  $100^\circ\text{C}$  розкладається, даючи сечовину та сірководень:

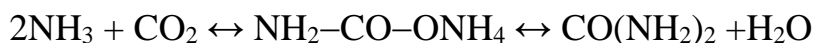


Сечовину також можливо синтезувати з фосгену та аміаку:



За таким способом карбамід утворюється в суміші з хлористим амонієм. Промислового застосування цей спосіб не отримав через труднощі розділення суміші.

В даний час майже виключне значення отримав прямий синтез карбаміду з аміаку та двоокису вуглецю за способом, який був розроблений в 1868 р. російським хіміком А.И. Базаровим. Схема процесу:



Незважаючи на те, що даний спосіб був відкритий більше 100 років тому, його реалізація почалась лише у 20-му сторіччі. Вперше в промисловому масштабі прямий синтез сечовини вдалося здійснити лише в 1920 р. фірмою «И. Г. Фарбеніндустрі» (Німеччина) на основі дешевої вихідної сировини –

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

синтетичного аміаку і відкидного двоокису вуглецю. Однак і після цього скільки-небудь значного росту виробітку карбаміду приблизно до 1950 р., навіть в економічно розвинених країнах, не спостерігалось.

Основними причинами, які спричинили затримку розвитку виробництва сечовини, стали невивченість фізико-хімічних умов процесу її синтезу з  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$  відсутності можливості широкого застосування синтетичного карбаміду. Крім цього, при розробці промислових схем виробництва карбаміду довелося зіштовхнутись з рядом труднощів при вирішенні питань конструювання апаратури, захисту її від корозії, раціонального використання аміаку та двоокису вуглецю що непроарегували і експлуатації установок.

В результаті проведених великих досліджень в області теоретичних основ промислового синтезу сечовини, проектно-конструкторських і досвідних робіт зі створення апаратури і вивченню окремих технологічних вузлів були знайдені дуже цікаві рішення схем виробництва карбаміду. Впровадження таких схем дозволило значно покращити техніко-економічні показники процесу, підвищити якість і знизити вартість готової сечовини.

Пришвидшеними темпами виробництво карбаміду почало розвиватись після закінчення другої світової війни, чому сприяв ріст його вжитку у сільському господарстві.

За 1950-1961 рр. світові потужності з виробництва сечовини (без СРСР) збільшилось з 230 до 3185 тис. т., тобто в 14 раз. В 1962 р. світовий випуск сечовини перевищував 3,5 млн. т., а в 1963 р. досягнув 4 млн. т. На початок 1965 р. світові виробничі потужності по сечовині склали за попередніми даними приблизно 4,5 млн. т.

Найбільшими виробниками карбаміду є США і Японія. Нижче в табл 1.1 наведені дані о виробниках сечовини в деяких капіталістичних країнах (за іноземними даними).

*Таблиця 1.1*

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

### Найбільші виробники карбаміду з 1961 р. по 1966 р.

	1961 р.	1962 р.	1963 р.	1966 р.
США	900	916	1093	1315
Японія	718	800	1017	1350
ФГР	155	325	—	—
Франція	70	308	—	—
Італія	180	212	219	—

Виробництво сечовини в СРСР також неухильно розвивається. В 1965 р. будуть запущені в експлуатацію ще декілька потужних установок.[2]

#### 1.2 Карбамід та його властивості

Сечовина (він же карбамід) — азотиста органічна сполука, що складається з карбонільної групи, приєднаної до двох амінних груп, яка відіграє важливу роль у багатьох біологічних процесах, будучи продуктом розпаду білків. Карбамід зустрічається у вигляді білої речовини без запаху, розчинної у воді, з дуже низькою токсичністю. Сечовина має найвищий вміст азоту серед усіх твердих добрив на основі азоту (до 46%), і для цього вона в основному використовується як добриво, що виділяє азот.

За невисоких температур малогігроскопічна, при підвищенні температури гігроскопічність зростає.

Схильна до злежування, тому потребує грануляції. Грунтовими бактеріями перетворюється в амонію карбамат. При грануляції за високої температури здатна перетворюватись в біурет, який при концентрації більше 3% по масі отруйний для рослин (це необхідно враховувати при грануляції). Біурет у ґрунті на протязі 10-15 днів легко розкладається. [3,4]

Карбамід розчинний у метанолі, етанолі, ізопропанолі, ізобутанолі, етилацетаті, нерозчинний у хлороформі. Сечовина здатна утворювати сполуки з включенням неорганічних речовин і з органічними речовинами.[19]

Незважаючи на відносну безпечність готового продукту, при виробництві слід бути обережними. Небезпеку може створювати пил цієї речовини, який при довгому тривалому контакті зі шкірою та очами, а також при потраплянні в легені може спричинити подразнення.[20]

### 1.3 Технології отримання

*Схеми з рециклом непрореагованих гарячих газів  $NH_3$  і  $CO_2$ .*

За цим способом досягається майже повна рециркуляція газів, однак він не знайшов широкого промислового застосування внаслідок значних труднощів, які виникли при компрімуванні суміші гарячих газів  $NH_3$  і  $CO_2$ .

Стиснення аміаку та двоокису вуглецю за високих температур викликає корозію компресору. Крім цього в цих умовах може відбуватись утворення пробок із твердого карбамат амонію, що призводить до забиття трубопроводів і пошкодження компресора. Тому, щоб уникнути утворення твердого осаду, необхідно дуже ретельно підтримувати температурний режим.

*Схеми з рідким рециклом  $NH_3$  і  $CO_2$  у вигляді масляної суспензії карбонату амонію.*

Даний спосіб розроблений французькою фірмою «Пешине» і реалізований в промисловості американською фірмою «Фостер Уілер».

Рециркуляція аміаку та двоокису вуглецю за цією схемою здійснюється у вигляді тонкодисперсної суспензії карбамат амонію в мінеральному маслі. Олія, що використовується в даному процесі не повинна розчинятись у воді і взаємодіяти з компонентами реакційної маси і повинно мати низький тиск парів при температурі синтезу.

*Схеми з газовим рециклом  $NH_3$  і  $CO_2$  що поділяються.*

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділення непрореагованих газів на аміак та двоокис вуглецю і повернення їх в цикл застосовуються в схемах «Хеміко», «Інвента» і «Монтекатіні» (стара схема). Всі ці схеми відрізняються тільки технологічним режимом процесів синтезу і дистиляції, а також абсорбентами, які використовуються для розділення газів.

*Схеми з рідким рециклом NH<sub>3</sub> і CO<sub>2</sub> у вигляді водних розчинів амонійних солей.*

Процес з рециркуляцією розчинів амонійних солей розроблен фірмами «Дюпон», «Монтекатіні» (нова схема), «Тое-коцау» і «Стамікарбон». Схеми основані на цьому способі розрізняються лише технологічними параметрами (тиском, температурою, співвідношенням NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O у вихідній суміші) і конструктивними особливостями апаратури. [2]

#### **1.4 Фізико-хімічні основи синтезу.**

Сировиною для синтезу карбаміду є аміак да оксид вуглецю(IV).

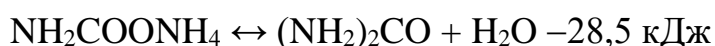
Виробництво карбаміду включає стадії: хімічна взаємодія аміаку та двоокису вуглецю (синтез); дистиляція продуктів синтезу; переробка розчинів карбаміду, добутих під час дистиляції, на готовий продукт.

Синтез карбаміду – приклад гетерогенного некаталітичного процесу в системі «рідина–газ», перебіг якого відбувається в кінетичній сфері.

Синтез карбаміду відбувається у дві стадії: при взаємодії газоподібного діоксиду вуглецю з рідким аміаком утворюється карбамат амонію:



Дегідратація карбамату амонію з утворенням карбаміду у рідкій фазі – розплаві:



Сумарна швидкість синтезу карбаміду лімітується повільною хімічною реакцією  $(\text{NH}_2\text{COONH}_4 \leftrightarrow (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O})$  – відщеплення води від карбамату амонію в розплаві.

На рівновагу і швидкість синтезу карбаміду впливають тиск, температура і склад системи.

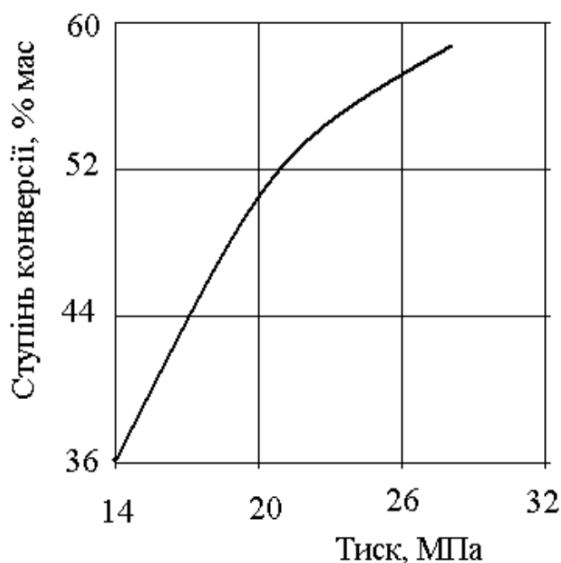


Рис. 2.1. Залежність виходу карбаміду від тиску

Оскільки карбамат амонію має високий тиск парів і, крім того перебіг синтезу в цілому відбувається зі зменшенням об'єму газу, то рівноважний вихід карбаміду зростає зі збільшенням тиску (рис.2.1.).

Швидкість процесу і фактичний вихід карбаміду також різко збільшується з підвищенням тиску внаслідок зростання рушійної сили процесу, тобто зростання концентрації газоподібних реагентів.  $\text{CO}_2$  і  $\text{NH}_3$

Швидкість процесу, зокрема швидкість лімітувальної стадії, різко зростає з підвищенням температури, внаслідок чого зростає фактичний вихід карбаміду. З рис. 3.1. випливає, що вище  $180^\circ\text{C}$  криві виходу проходять через максимум.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

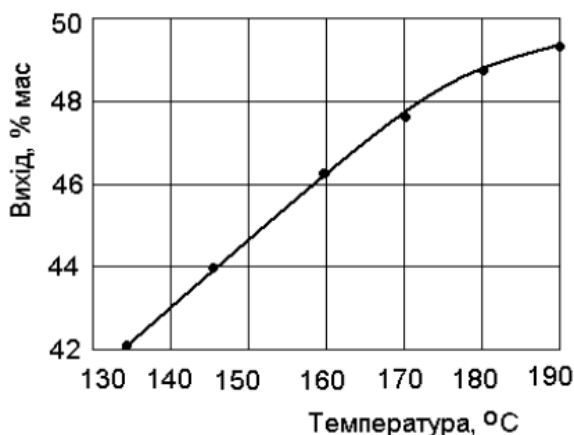


Рис. 3.1. Залежність виходу карбаміду від температури та часу перебування реакційної суміші в реакторі

За подальшого збільшення часу перебування реакційної суміші в зоні нагрівання вихід карбаміду зменшується через посилення побічних реакцій.

Вихід продукту можна також збільшити застосуванням надлишку аміаку у вихідній суміші відносно стехіометричного співвідношення (рис. 4.1).

Надлишок аміаку перешкоджає утворенню побічних продуктів гідролізу карбамату і зміщує рівновагу у бік утворення карбаміду, оскільки цей надлишок за'язує воду, що утворюється, внаслідок дегідратації карбамату амонію.

Надлишок аміаку в суміші реагує, що зменшує також корозію обладнання.

У промисловості синтез карбаміду ведуть без застосування каталізаторів під тиском 18-20 МПа в інтервалі температур 180-200°C.

Як сировина використовується експандерний газ аміачного виробництва, що містить до 90% CO<sub>2</sub>, та рідкий Аміак, узятий у надлишку 100-125% від стехіометричної кількості.

За цих умов вихід карбаміду (за CO<sub>2</sub>) становить 60-70% і в плаві, що утворюється за дегідратації карбамату, міститься близько 35% карбаміду.

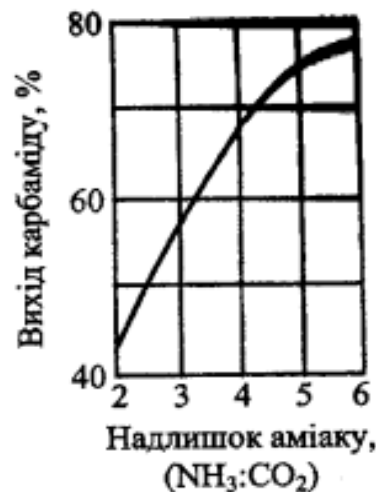


Рис. 4.1. Залежність рівноважного виходу карбаміду від надлишку аміаку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Схеми виробництва карбаміду відрізняються різними методами розділення і регенерації відхідних газів та використанням їх у суміжному виробництві амонійної селітри: роздільна абсорбція  $\text{CO}_2$  і  $\text{NH}_3$  селективними сорбентами з поверненням реагентів у процес у газоподібному вигляді (газовий рецикл); абсорбція  $\text{CO}_2$  і  $\text{NH}_3$  інертною мінеральною оливою з утворенням суспензії карбамату амонію, яку повертають у колону синтезу; абсорбція  $\text{CO}_2$  і  $\text{NH}_3$  водою та повернення в цикл водних розчинів амонійних солей (рідинний рецикл) та ін.

Найпростіший та найбільш економічних метод утилізації не перетворених  $\text{CO}_2$  і  $\text{NH}_3$  – це рідинний рецикл водного розчину амонійних солей. Такі циклічні системи характеризуються незначними відходами та високим ступенем використання вихідних реагентів.[5]

## 1.5 Застосування

### Харчова добавка

Сечовина може застосовуватись під час виробництва спирту, з ціллю збагачення харчових добавок азотом, під час переробки насіння хлопчатнику.[12]

За допомогою цієї харчової добавки можна створити ефект «охолодження». У харчовій промисловості Е 927 б можна використовувати лише для поліпшення смакових та жувальних властивостей жувальної гумки без цукру.[13]

При потраплянні в пульпу зуба, що приє підсиленню циркуляції рідини в напрямку пульпи зуба. Це підвищує кислотостікість емалі.[14]

Також харчова добавка Е-927б застосовується для покращення властивостей муки і хлібної продукції. Крім цього, карбамід слугує поживним середовищем і джерелом азоту для дріжджових культур.[15]

### Фармацевтика і косметика

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сечовина є відомим зволожуючим засобом місцевої дії. На її основі виготовляють різні лосьйони, креми, мазі які застосовуються для щоденного зволоження сухої шкіри; а також лікування деяких захворювань шкіри (наприклад таких як: іхтіоз, псоріаз, мозолі). [7]

Є в складі косметики для лица, так і в інших доглядових засобах. Речовина є головним зволожуючим компонентом і добре поєднується з іншими інгредієнтами для вирішення проблеми сухості і загрубіння шкіри. Найчастіше сечовину в своєму складі мають креми для ніг, оскільки саме шкіра стопи найчастіше схильна до агресивної дії, і як наслідок, сухість і поступова поява більш загубілої шкіри на підшві.[16]

Вона абсолютно безпечна до використання і не викликає алергічних реакцій. Регулярне використання сприяє загальному покращенню стану шкіри.[17]

Дослідження показують, що сечовина в складі крему підвищує проникненню вітамінів у шкіру.[21]

### **Промисловість**

Застосовують для приготування карбамідно-формальдегідних смол, пластичних мас, клеїв, для депарафінізації мастил, для полімерів, що перероблюються у волокна (Японська полісечовина Урилон), в текстильній та паперовій промисловості, у виробництві барвників та миючих речовин. Його також застосовують у виробництві деревообробної та шкіряній промисловості.[6]

Застосовується у виробництві будівельних сумішей таких як цемент, гіпс, бетон. Як добавка покращує міцність та прискорює застигання. [11]

Може бути застосован як м'який атиожеледний реагент.[18]

Сільське господарство.

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Карбамід є висококонцентрованим безбаластним азотним добривом. В порівнянні з іншими азотними добривами (крім NH<sub>3</sub>) карбамід містить велику кількість азоту. Азот карбаміду дуже легко засвоюється рослинами і по засвоюваності рівноцінний азоту, який міститься у фосфатах амонію.

За своїми фізичними властивостями карбамід як добриво також має перевагу перед аміачною селітрою. Він не вибухонебезпечний, менш гігроскопічний і не так сильно схилений до злежування. При попаданні у ґрунт, карбамід під дією вологи дуже швидко перетворюється у карбанат амонію, який далі нітрифікується. Тому на кислому ґрунті карбамід спочатку виявляє нейтралізуючу дію, а потім починає діяти аналогічно аміачній селітрі, тобто підкислює ґрунт. При позакореновому підживленні рослин карбамід безпечний, так як не викликає опіків листя, якщо в ньому міститься не більше 0.25% біурету.[6]

### **Тваринництво**

Карбамід застосовують для відгодівлі худоби в як добавка до корму, який містить мало білків і багато вуглеводів. В сичузі жуйних тварин мікроорганізми

перетворюють амідний азот карбаміду у білкові сполуки.[6]

**Висновок:** Проаналізувавши літературні джерела було виявлено багато способів синтезу карбаміду. Для подальшої роботи було обрано схему з повним рідинним рециклом так як вона не потребує каталізатору а вихід цільової речовини є найбільшим.

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Сировина

*Карбамід.* Зовнішній вигляд – кристали не мають запаху та кольору, мають форму довгих та тонких призм. Технічна сечовина зазвичай забарвлена в білий або жовтуватий колір. Фізико-хімічні властивості [2]:

Молекулярна маса..... 60,06

Густина (при 20°C),  $кг/м^3$ ..... 1335

Температура плавлення, °C

при 1 ат..... 132,5

при 300 ат..... 150

Теплота

утворення з простих речовин,  $кДж/моль$ .....~334

плавлення,  $кДж/моль$ ..... 15

розчинення в воді (при 19°C)  $кДж/кг$ .....251,7

Кут природнього відкосу, *град*

гранульований продукт..... 37

кристалічний продукт..... 35

Питома теплоємність (при 20 °C)  $кДж·кг^{-1}·град^{-1}$ ..... 1,34

*Аміак* – безарвний горючий газ, добре розчинний у воді. Для синтезу карбаміду допускається використовувати II сорт аміаку згідно ДСТУ 6221-62, а саме аміак, що містить не більше 1% води від загальної маси. Фізико-хімічні властивості [2]:

					ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.020.КР.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гриб В.В.			<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романова О.О.					20	87
Н. Контр.		Подобій О.В.				НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.						

Молекулярна маса..... 17,03

В'язкість при (0°C),  $H \cdot \text{сек}/\text{м}^2$

$\text{NH}_3$ (газ)..... $93 \cdot 10^{-11}$

$\text{NH}_3$ (рід)..... $24 \cdot 10^{-5}$

Критичні константи

тиск,  $H/\text{м}^2 \text{ атм}$ .....114,84

температура, °C .....132,40

питомий об'єм,  $\text{м}^3/\text{кг}$ .....4,26

Густина

$\text{NH}_3$ (газ, при 0°C і 1 ат),  $\text{кг}/\text{л}$ .....770

$\text{NH}_3$ (рід),  $\text{кг}/\text{м}^3$ .....681

Температура, °C

кипіння..... -33,35

плавлення ..... -77,70

Теплота утворення з простих речовин,  $\text{кДж}/\text{моль}$

$\text{NH}_3$ (газ).....45,8

$\text{NH}_3$ (рід)..... 66,3

Питома теплоємність  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$

$\text{NH}_3$ (газ, ідеальний стан)

при

0°C..... $2 \cdot 10^3$

при

25°C..... $2,1 \cdot 10^3$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

при

100°C.....2,2·10<sup>3</sup>

NH<sub>3</sub>(рід, седн. при 10-30°C).....2·10<sup>3</sup>

*Двоокис вуглецю* – безбарвний газ, який має кислуватий запах та смак.

При 0°C і тиску 35,54 *атм.* газ густіє в безбарвну рідину, а при сильному охолодженні застигає у снігоподібну масу білого кольору. За температури -56,6°C і тиску 58,28 *атм.* двоокис вуглецю знаходиться во всіх трьох станах: твердому, рідкому і газоподібному. Діоксид вуглецю добре розчинний у воді. Основні фізико-хімічні константи[2]:

Молекулярна маса..... 44

В'язкість *H·сек/м<sup>2</sup>*

при 20°C, .....146·10<sup>-11</sup>

при 50°C, .....16·10<sup>-10</sup>

при 100°C, .....183·10<sup>-11</sup>

Критичні константи

тиск, *H/м<sup>2</sup> атм.*.....71.1

температура, °C .....31

Густина, *кг/л*

CO<sub>2</sub>(газ.) .....1,98·10<sup>-3</sup>

CO<sub>2</sub>(рід.) .....0,92

CO<sub>2</sub>(тв.) .....1,3 - 1,6

Температура, °C

кипіння..... -78,5

плавлення ..... -56,2

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплота утворення з простих речовин, $\text{кДж/моль}$ .....	-394
Питома теплоємність (при $50^\circ\text{C}$ і $1 \text{ ат}$ $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$ ).....	0,84

## 2.2 Принципово технологічна схема

На рис 2.1 представлена технологічна схема процесу виробництва карбаміду з аміаку та вуглекислого газу.

На стадії змішування відбувається змішування попередньо підготовленого аміаку та діоксиду вуглецю ( $P=20\text{МПа}$  і  $T=100^\circ\text{C}$ ), відбувається утворення карбамату амонію.

Стадія синтезу. Суміш підігрівається до  $190^\circ\text{C}$  і при тиску  $20 \text{ МПа}$  в колоні синтезу протягом  $40\text{-}45 \text{ хв}$  утворюється плав карбаміду.

На стадії дистиляції I-го ступеня за тиску  $1,8\text{МПа}$  і температури  $160^\circ\text{C}$  від плаву частково відділяється парогазова суміш, до якої входить аміак, діоксид вуглецю, та незначна кількість парів води.

На стадії дистиляції II-го ступеня за тиску  $0,3\text{МПа}$  і початкової температури  $110^\circ\text{C}$  плав нагрівають до  $145^\circ\text{C}$ . Від плаву майже повністю відділяється парогазова суміш, до якої входить аміак, діоксид вуглецю, та незначна кількість парів води.

У вакуум випарнику при тиску  $40\text{кПа}$  і температури  $95^\circ\text{C}$  розчин карбаміду упарюють до концентрації  $74\%$ .

У випарнику I-го ступеня за тиску  $40\text{кПа}$  і температури  $120\text{-}125^\circ\text{C}$  розчин упарюється до  $93 - 95\%$ .

У випарнику II-го ступеня за тиску  $3\text{-}5\text{кПа}$  і температури  $130\text{-}140^\circ\text{C}$ . На стадії грануляції відбувається утворення готового продукту у гранули, які мають даметр  $1\text{-}4 \text{ мм}$ .

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

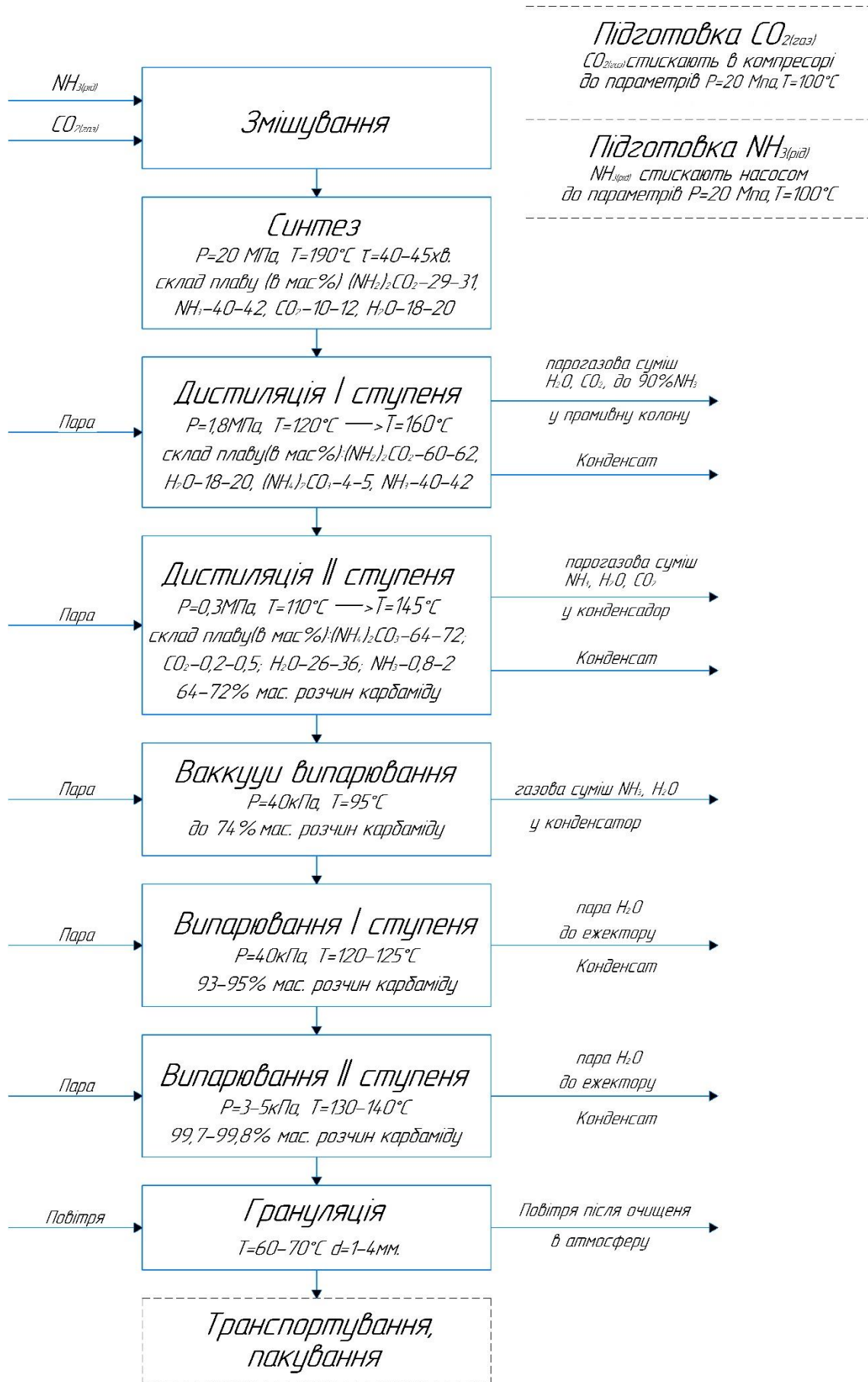


Рисунок 2.1. – принципово-технологічна схема

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після стадії грануляції продукт, який вже має товарну форму направляється на пакування.

### 2.3 Матеріальний баланс.

Потужність установки в перерахунку на 100%-ву сечовину (в кг/год)..... 10300

Склад рідкого аміаку (свіжого і який знаходиться в циркуляції) (у %):

аміак..... 99,8

вода..... 0,2

Склад експанзерного газу (в об'ємних %):

діоксид вуглецю..... 97

інші гази..... 3

в тому числі

азотно-воднева суміш..... 2

кисень..... 1

Вміст аміаку у водному розчині амонійних солей, який повертається в цикл (у %)...... 43

Тиск в колоні синтезу ( в Па) .....  $20 \cdot 10^6$

Температура (в °С)..... 200

Мольне співвідношення компонентів, які подаються в колону синтезу – NH<sub>3</sub> : CO<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O ..... 4,5 : 1: 0,5

Ступінь перетворення карбамат амонію в сечовину при часі перебування в колоні синтезу 45хв (у %)...... 65

Втрати сечовини (у %):

під час дистиляції..... 5

під час упарювання..... 1

(в тому числі які не повертаються.....0,5)

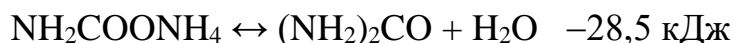
					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під час грануляції..... 1

З урахуванням 7% втрат (5+1+1) для отримання 10300 кг/год готового продукту в колоні синтезу повинно утворюватись сечовини:

$$10300 \cdot 1,07 = 11021 \text{ кг/год}$$

Основні реакції синтезу сечовини:



Стехіометричні витрати аміаку та двоокису вуглецю на 1000 кг сечовини визначається за сумарною реакцією



$$\frac{2 \cdot 17 \cdot 1000}{60} = 566,7 \text{ кг NH}_3$$

$$\frac{44 \cdot 1000}{60} = 733,3 \text{ кг CO}_2$$

де 17, 44 і 60 – відповідно молекулярні маси  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ .

Кількість реагентів які необхідно ввести у цикл для вироблення 11021 кг/год сечовини, дорівнює

$$11021 \cdot 0,5667 = 6245,6 \text{ кг/год NH}_3$$

$$11021 \cdot 0,7333 = 8081,7 \text{ кг/год CO}_2$$

Практичні витрати реагентів з урахуванням степені перетворення карбату амонію який утворюється у карбамід з заданого мольного співвідношення реагентів складає:

$$m_{\text{NH}_3} = 11021 \cdot \frac{17 \cdot 4,5 \cdot 100}{60 \cdot 65} = 21618,1 \text{ кг/год}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 11021 \cdot \frac{44 \cdot 1 \cdot 100}{60 \cdot 65} = 12433,9 \text{ кг/год}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 11021 \cdot \frac{18 \cdot 0,5 \cdot 100}{60 \cdot 65} = 2543,3 \text{ кг/год}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

де 4,5, 1 і 0,5 – коефіцієнти, які враховують мольне співвідношення аміаку, двоокису вуглецю і води; 65 – ступінь перетворення карбамату амонію у сечовину, %.

*Кількість аміаку, двоокису вуглецю і води, які повертаються у цикл з розчином амонійних солей.*

Позначимо відсотковий вміст  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  в амонійних солях відповідно  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$ . Згідно вихідним даним  $\alpha=43\%$ . Тоді склад розчину амонійних солей визначиться так:

$$m'_{\text{CO}_2} = 11021 \cdot \frac{44(1 - \eta)}{60 \cdot \eta} + 10300 \cdot \frac{44\text{П}}{60} \quad (1)$$

(де  $\eta$ -ступінь перетворення карбамату амонію в сечовину дорівнює 0.65; П-втрати сечовини при дистиляції і упарюванні, за включенням що не повертаються  $0,05+0,01-0,005=0,055$ ),

$$m'_{\text{NH}_3} = m'_{\text{CO}_2} \cdot \frac{\alpha}{\beta}, \quad (2)$$

$$m'_{\text{H}_2\text{O}} = m'_{\text{CO}_2} \cdot \frac{\gamma}{\beta}. \quad (3)$$

Підставляючи чисельні значення маємо

$$m'_{\text{CO}_2} = 11021 \cdot \frac{44(1 - 0,65)}{60 \cdot 0,65} + 10300 \cdot \frac{44 \cdot 0,055}{60} = 4767,3 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Визначення відсоткового вмісту двоокису вуглецю і води у розчині амонійних солей виконується з рівнянь

$$\beta + \gamma = 1 - \alpha = 1 - 0,43 = 0,57,$$

$$\gamma = 0,57 - \beta.$$

Кількість свіжого і аміаку який повертається, без урахування який повертається з розчином амонійних солей

$$A_1 = m_{\text{NH}_3} - m'_{\text{NH}_3}.$$

$$B_1 = (m_{\text{NH}_3} - m'_{\text{NH}_3}) \cdot \frac{0.002}{1 - 0.002} = \left( m_{\text{NH}_3} - m'_{\text{CO}_2} \cdot \frac{\alpha}{\beta} \right) \cdot \frac{0.002}{1 - 0.002},$$

$$B_1 = \left( 21618,1 - 4767,3 \cdot \frac{0.43}{\beta} \right) \cdot \frac{0.002}{1 - 0.002} = 43.3 - 4.1 \cdot \frac{1}{\beta},$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

де 0,002 – вміст вологи в аміаку.

Крім того, кількість води, яка вводиться зі свіжим аміаком і який повертається, можливо визначити з рівняння

$$B_1 = m_{H_2O} - m'_{H_2O}$$

На підставі рівності обох рівнянь відносно  $B_1$  випливає, що

$$m_{H_2O} - m'_{CO_2} \cdot \frac{\gamma}{\beta} = 43,3 - 4,1 \cdot \frac{1}{\beta}.$$

Вирішуючи це рівняння відносно  $\beta$ , знаходимо:

$$2543,3 - 4767,3 \cdot \frac{0,57 - \beta}{\beta} = 43,3 - 4,1 \cdot \frac{1}{\beta}, \beta = 0,395.$$

Відповідно,

$$\gamma = 0,57 - 0,395 = 0,175$$

Підставляючи значення  $\beta$  і  $\gamma$  в рівняння 2 і 3, визначимо кількість аміаку і води, що надходять з розчином амонійних солей

$$m'_{NH_3} = 4767,3 \frac{0,43}{0,395} = 5189,7 \text{ кг/год}$$

$$m'_{H_2O} = 4767,3 \frac{0,175}{0,395} = 2111,2 \text{ кг/год}$$

Всього надходить розчину амонійних солей

$$4767,3 + 5189,7 + 2111,2 = 12068,2 \text{ кг/год}$$

Кількість свіжого і поверненого аміаку без урахування  $NH_3$ , що повертається з розчином амонійних солей,

$$A_1 = 21618,1 - 5189,7 = 16428,4 \text{ кг/год}$$

Кількість води, яка вводиться зі свіжим і аміаком, що повертається,

$$B_1 = 254,3 - 2111,2 = 432,1 \text{ кг/год}$$

### Колона синтезу

Загальна кількість компонентів які надходять (в кг/год):

$$m_{NH_3} = 21618,1, \quad m_{CO_2} = 12433,9, \quad m_{H_2O} = 2543,3$$

Кількість свіжого двоокису вуглецю

$$m_{CO_2} - m'_{CO_2} = 12433,9 - 4767,3 = 7666,6 \text{ кг/год}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Кількість інших газів, які надходять з двоокисом вуглецю (3 об'ємних %).

$$v_{\text{дом}} = 7666,6 \cdot \frac{22,4}{44} \cdot \frac{3}{100 - 3} = 120,5$$

$$m_{\text{дом}} = 120,5 \cdot 0,73 = 88 \text{ кг/год}$$

де 0,73 – густина інших газів, кг/м<sup>3</sup>.

Утворюється карбамату амонію за реакцією (1)

$$m_{\text{CO}_2} \cdot \frac{78}{44} = 22041,9 \text{ кг/год}$$

де 78 і 44 – молекулярні маси карбамату амонію та двоокису вуглецю.

На утворення карбамату амонію витрачається аміаку

$$\frac{22041,9 \cdot 2 \cdot 17}{78} = 9608 \text{ кг/год}$$

де 17 – молекулярна маса аміаку.

Залишається непрореагованого аміаку

$$21618,1 - 9608 = 12010 \text{ кг/год}$$

Утворюється сечовини з карбамату амонію

$$22041,9 \cdot \frac{60}{78} \cdot \frac{65}{100} = 11021 \text{ кг/год}$$

Кількість непрореагованого карбамату амонію

$$22041,9 \cdot \frac{100 - 65}{100} = 7714,5 \text{ кг/год}$$

При перетворенні карбамату амонію в сечовину за реакцією (2) утворюється води

$$22041,9 \cdot \frac{18}{78} \cdot \frac{65}{100} = 3306,1 \text{ кг/год}$$

Всього виходить води в колоні синтезу

$$3306,1 + 2543,3 = 5849,4 \text{ кг/год}$$

Вода взаємодіє з надлишковим аміаком, утворюючи NH<sub>4</sub>OH, кількість якого становить

$$\frac{5849,4 \cdot 35}{18} = 11373,8 \text{ кг/год}$$

де 35 і 18 – молекулярні маси NH<sub>4</sub>OH і H<sub>2</sub>O.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На утворення 11373,3 кг/год  $\text{NH}_4\text{OH}$  витрачається аміаку

$$11373,8 - 5849,4 = 5523,9 \text{ кг/год}$$

Залишається вільного аміаку в газовій фазі

$$12010,1 - 5523,9 = 6486,2 \text{ кг/год}$$

Таблиця 2.1

### Зведений матеріальний баланс синтезу сечовини

Прихід		Витрати		
речовина	кг/год	речовина	кг/год	% по масі
Аміак (свіжий і повернений):		Сечовина.....	11021	30
$\text{NH}_3$ .....	16428,4	Карбамат	7714,5	21
$\text{H}_2\text{O}$ .....	432,1	амонію.....		
Загалом Аміаку	16860,5	Надлишок вільного аміаку.....	6486,2	17,7
Двоокис вуглецю:		Вода+ $\text{NH}_3(\text{NH}_4\text{OH})$ ...	11373,8	31
$\text{CO}_2$ .....	7666,6	Інші гази.....	120,5	0,3
Інші гази.....	120,7			
Загалом двоокису вуглецю.....	7787,3			
Розчин амонійних солей:				
$\text{NH}_3$ .....	5189,7			
$\text{CO}_2$ .....	4767,3			
$\text{H}_2\text{O}$ .....	2111,1			
Загалом розчину.....	12068,1			
Всього	36716	Всього	36716	100

Визначення числа колон синтезу

Згідно матеріального балансу в колону синтезу надходить кг/год різних речовин. Об'єм утвореного плаву сечовини

$$\frac{36716}{900} = 40,8$$

Де 900 – густина плаву,  $\text{кг/м}^3$ .

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Для забезпечення заданого виходу по сечовині час перебування плаву в колоні синтезу повинно бути близько 45 хв. Тоді необхідний реакційний об'єм колони складає

$$v_p = v_{\text{плав}} \cdot \tau = 40,8 \cdot 0,75 = 30,6 \text{ м}^3$$

де 0,75 – час перебування плаву в колоні синтезу, год.

### Матеріальний розрахунок дистиляції плаву сечовини I-го ступеня.

В першій ступені дистиляції відганяється з плаву надлишковий аміак і розкладається частина карбамату амонію, що не перетворився в сечовину. Рідка фаза, що містить сечовину і карбамат амонію, що не розклався, аміак та воду, надходить на дистиляцію другого ступеня, а газообразна фаза надходить в промивну колону.

#### Вихідні дані

Тиск в колоні дистиляції першого ступеня (в Н/м<sup>2</sup>).....18·10<sup>5</sup>

Ступінь відгонки надлишкового аміаку (у %)...90

Ступінь розкладання карбамату амонію (у %)...90

Склад плаву, який надходить на дистиляцію (дивитись матеріальний розрахунок)

Склад водяних парів у газовій фазі, що виходить з колони дистиляції першого ступеня (у % мас.).....3

Розкладається карбамату амонію за реакцією  $\text{NH}_2\text{COONH}_4 \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$

$$7714,5 \cdot 0,9 = 6943 \text{ кг/год}$$

При розкладанні карбамату амонію виділяється:

$$6943 \cdot \frac{2 \cdot 17}{78} = 3026,4 \text{ кг/год NH}_3$$

$$6943 \cdot \frac{44}{78} = 3916,6 \text{ кг/год CO}_2$$

Залишається карбамату амонію в рідкій фазі

$$7714,5 - 6943 = 771,5 \text{ кг/год}$$

Відганяється надлишкового аміаку

$$12010 \cdot 0,9 = 10809 \text{ кг/год}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залишається аміаку в рідкій фазі

$$12010 - 10809 = 1201 \text{ кг/год}$$

Всього відганяється аміаку

$$3026,4 + 10809 = 13835,4 \text{ кг/год}$$

Кількість водяних парів, що йдуть з газової фази,

$$(120,5 + 3916,6 + 13835,4) \cdot \frac{3}{100 - 3} = 552,7 \text{ кг/год}$$

Залишається води в рідкій фазі

$$5849,4 - 552,7 = 5296,7 \text{ кг/год}$$

де 5849,4 - кількість води в плаві, кг/год

Таблиця 2.2.

### Зведений матеріальний баланс дистиляції першого ступеня.

Прихід			Витрати		
Речовина	кг/год	%	Речовина	кг/год	%
Сечовина.....	11021	30	Газообразна фаза		
Карбамат амонію	7714,5	21	(надходить у		
Надлишковий аміак.	6486,2	17,7	промивну колону):		
Вода+NH <sub>3</sub> (NH <sub>4</sub> OH)	11373,8	31	Аміак.....	13835,4	37,7
Інші гази.....	120,5	0,3	Двоокис вуглецю...	3916,6	10,7
			Водяні пари.....	552,7	1,44
			Інші гази.....	120,5	0,3
			Загалом.....	18425,2	
			Рідка фаза		
			(надходить на		
			дистиляцію другого		
			ступеня):		
			Сечовина.....	11021	30
			Карбамат амонію...	771,5	2,15
			Надлишок аміаку...	1201	3,3
			Вода.....	5296,7	14,41
			Загалом.....	18290,2	
Всього	36716	100	Всього.....	36716	100

## Матеріальний розрахунок дистиляції плаву сечовинни II-го ступеня.

На другій ступені дистиляції повністю розкладається карбамат амонію, що залишився, а також відганяється весь надлишковий аміак і двоокис вуглецю. Утворений розчин сечовини надходить на переробку у готовий продукт, а газообразна фаза надходить у конденсатор другого ступеня.

Вихідні дані

Тиск в колоні (у Н/м<sup>2</sup>)..... 3·10<sup>5</sup>

Втрати сечовини (у % маси від готової продукції)..... 5

Вміст водяних парів в газовій фазі, що виходить з колони дистиляції другого ступеня (у % від об'єму сухих газів)..... 30

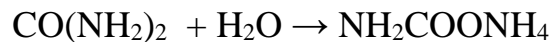
Склад плаву, що надходить на дистиляцію, приймаємо згідно матеріальному розрахунку дистиляції першого ступеня.

Для розрахунку приймаємо, що розкладання карбамату амонію, відгонка аміаку та двоокису вуглецю з плаву будуть повними.

Кількість сечовини, що розклалась при дистиляції, - 5% від маси готового продукту:

$$10300 \cdot 0,05 = 515 \text{ кг/год}$$

З цієї кількості сечовини за реакцією



утворюється карбамату амонію

$$\frac{515 \cdot 78}{60} = 669,5 \text{ кг/год}$$

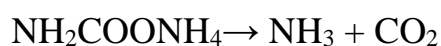
На утворення карбамату амонію з сечовини витрачається води

$$\frac{515 \cdot 18}{60} = 154,5 \text{ кг/год}$$

Загальна кількість карбамату амонію, який розкладається в колоні,

$$771,5 + 669,5 = 1441 \text{ кг/год}$$

При розкладанні карбамату амонію за реакцією



					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

виділяється

$$\frac{1441 \cdot 2 \cdot 17}{78} = 628,1 \text{ кг/год NH}_3$$

$$\frac{1441 \cdot 44}{78} = 812,8 \text{ кг/год CO}_2$$

де 17 і 44 – молекулярні маси аміаку та двоокису вуглецю.

Загальна кількість аміаку та двоокису вуглецю, що відганяються з колони (в м<sup>3</sup>/год),

$$1201 + 628,1 = 1829,1 \text{ кг/год}$$

Об'єм аміаку та двоокису вуглецю, що відганяються з колони (в м<sup>3</sup>/год)

$$v_{\text{NH}_3} = \frac{1829,1 \cdot 22,4 \cdot (273 + 110) \cdot 101325}{17 \cdot 273 \cdot 3 \cdot 10^5} = 1142$$

$$v_{\text{CO}_2} = \frac{812,8 \cdot 22,4 \cdot (273 + 110) \cdot 101325}{44 \cdot 273 \cdot 3 \cdot 10^5} = 196,1$$

де 22,4 – об'єм 1 кмоль газу за нормальних умов, м<sup>3</sup>; (273+110) – середня температура газів, що відганяються, °К; 3·10<sup>5</sup> – тиск в колоні, Н/м<sup>2</sup>; 101325 – нормальний барометричний тиск, Н/м<sup>2</sup>;

Враховуючи, що за умови пари води складають 30% від об'єму сухих газів, маємо

$$v_{\text{H}_2\text{O}} = (1142 + 196,1) \cdot 0,3 = 401,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

або за нормальних умов

$$\frac{401,3 \cdot 273 \cdot 3 \cdot 10^5}{(273 + 110) \cdot 101325} = 847 \text{ Н} \cdot \text{м}^3/\text{год},$$

що відповідає

$$\frac{847 \cdot 18}{22,4} = 680,6 \text{ кг/год.}$$

Загальна кількість аміаку та двоокису вуглецю, що відганяються під час дистиляції другого ступеня,

$$1201 + 628,1 + 812,8 = 2641,9 \text{ кг/год.}$$

Кількість води, що залишається в розчині сечовини,

$$5296,7 - (680,6 + 154,5) = 4461,6 \text{ кг/год.}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість сечовини, що виходить після дистиляції,

$$11021 - 515 = 10506 \text{ кг/год.}$$

Кількість розчину сечовини, що виходить після дистиляції другого ступеня,

$$10506 + 4461,6 = 14967,6 \text{ кг/год.}$$

Концентрація розчину сечовини

$$\frac{10506 \cdot 100}{14967,6} = 70,2\%.$$

Таблиця 2.3.

### Зведений матеріальний баланс дистиляції другого ступеня

Прихід		Витрати		
Речовина	кг/год	Речовина	кг/год	%
Плав:		Розчин (що		
сечовина.....	11021	направляється на		
карбамат амонію.....	771,5	переробку в готовий		
вода.....	5296,7	продукт):		
аміак.....	1201	сечовина.....	10506	57,44
		вода.....	4461,6	24,4
		Загалом	14967,6	
		Гази, що відходять		
		(направляються у		
		конденсатор другого		
		ступеня):		
		аміак.....	1829,1	10
		двоокис вуглецю.....	812,8	4,44
		водяна пара.....	680,6	3,72
		Загалом	3322,5	
Всього	18290,2	Всього	18290,2	100

### Матеріальний розрахунок процесу випарювання розчину сечовини.

Випарюють розчин сечовини в декілька етапів. Спочатку випарювання виконується за рахунок самовипарювання під вакуумом у вакуум-випарнику. Дарі розчин випарюється до кінцевої концентрації у випарному апараті плівкового типу.

*Вакуум-випарник.*

*Вихідні дані:*

Кількість розчину, що надходить (в кг/год).....14967,6

Концентрація розчину, що надходить (у %).....70,2

Температура розчину (в °С)

що надходить.....140

що йде.....95

Залишковий тиск (в Н/м<sup>2</sup>).....0,4·10<sup>5</sup>

Рівняння матеріально-теплого балансу вакуум випарника

$$(m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot t_1 = m_1 \cdot c_3 \cdot t_2 + (m_2 - x) \cdot c_2 \cdot t_2 + x \cdot r + Q_{\text{втр}}$$

Звідси

$$x = \frac{(m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot t_1 - m_1 \cdot c_3 \cdot t_2 - m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 - Q_{\text{втр}}}{r - c_2 \cdot t_2}$$

Де  $m_1$  - кількість сечовини в розчині (10506 кг/год);  $m_2$  - кількість води в розчині (4461,6 кг/год);  $x$  - кількість води, що випарюється (в кг/год);  $c_1$  - теплоємність сечовини при 140°С (2,014 кДж/кг·град);  $c_2$  - теплоємність води (в кДж/кг·град): а) 4,208 при 140°С і б) 4,19 при 95°С);  $c_3$  - теплоємність сечовини при 95°С (1,845 кДж/кг·град);  $t_1$  - початкова температура розчину (140°С);  $t_2$  - кінцева температура розчину (95°С);  $r$  - теплота пароутворення води при 0,4·10<sup>5</sup> Н/м<sup>2</sup> (2320 кДж/год); - втрати теплоти апаратом в оточуюче середовище (~2000 кДж/год).

$$x = \frac{(10506 \cdot 2,014 + 4461,6 \cdot 4,208)140 - 10506 \cdot 1,845 \cdot 95 - 4461,6 \cdot 4,19 \cdot 95 - 2000}{2320 - 4,19 \cdot 95}$$

$$= 1025,7 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Залишається води в розчині сечовини

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$4461,6 - 1025,7 = 3435,9 \text{ кг/год.}$$

Таблиця 2.4

**Зведений матеріальний баланс вакуум-випарника**

Прихід			Витрати		
Речовина	кг/год	%	Речовина	кг/год	%
Розчин сечовини з дистиляції другого ступеня:			Рідка фаза (у випарний апарат I-го та II-го ступеня):		
сечовина.....	10506	70,2	сечовина.....	10506	75,4
вода.....	4461,6	29,8	вода.....	3435,9	24,6
			Загалом.....	13940,9	100
			Водяна пара (у конденсатор)	1025,7	
Всього	14967,6	100	Всього	14967,6	

*Випарний апарат I-го та II-го ступеня.*

Вихідні дані

Кількість розчину сечовини, що надходить на випарювання ( в кг/год).....13940,9

Концентрація розчину, що надходить (у %).....75,4

Склад розчину приймаємо згідно матеріальному розрахунку вакуум-випарника.

Кінцева концентрація плаву (у %).....99,8

Кількість сечовини, що розкладається при випарюванні (у % від маси готового продукту).....1

Кількість сечовини, яка розклалась при випарюванні,

$$10300 \cdot 0,01 = 103 \text{ кг/год.}$$

З цієї кількості сечовини при розкладанні за реакцією



утворюється

$$103 \cdot \frac{44}{60} = 75 \text{ кг/год } \text{CO}_2,$$

$$103 \cdot \frac{2 \cdot 17}{60} = 58 \text{ кг/год } NH_3,$$

Витрачається води на розкладання сечовини

$$103 \cdot \frac{18}{60} = 31 \text{ кг/год } H_2O,$$

Кількість сечовини, яка міститься в плаві на виході з випарного апарату,

$$10506 - 103 = 10403 \text{ кг/год.}$$

Залишається води в плаві

$$10403 \cdot \frac{2}{99,8} = 208,4 \text{ кг/год.}$$

Випарюється води у випарному апараті

$$3435,9 - (208,4 + 31) = 3196,5 \text{ кг/год.}$$

Таблиця 2.5

### Зведений матеріальний баланс випарного апарату I-го та II-го ступеня

Прихід			Витрати		
Речовина	кг/год	%	Речовина	кг/год	%
Розчин сечовини з дистиляції другого ступеня:			Плав (у грануляційну башту):		
сечовина.....	10506	75,4	сечовина.....	10403	98
вода.....	3435,9	24,6	вода.....	208,4	2
			Загалом.....	10611,4	100
			Паро-газова фаза (у конденсатор):		
			водяна пара.....	3196,5	
			аміак.....	58	
			двоокис вуглецю.....	75	
			Загалом.....	3329,5	
Всього	13940,9	100	Всього	13940,9	

### Матеріальний баланс кристалізації

Кристалізація здійснюється в грануляційній вежі

*Вихідні дані*

Кількість плаву сечовини, що надходить на кристалізацію ( в кг/год).....10611,4

Концентрація плаву, що надходить ( у %).....98

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Склад плаву приймаємо згідно матеріального розрахунку процесу випарювання.

Вміст вологи в сечовині, що виходить з башти (у %)...0,8

Втрати сечовини (у % від маси готового продукту)...1

Втрачається сечовини в башті грануляції

$$10300 \cdot 0,01 = 103 \text{ кг/год.}$$

Кількість товарної сечовини, що виходить з грануляційної башти

$$\frac{10403 - 103}{0,992} = 10383 \text{ кг/год.}$$

Кількість води, що залишається в плаві

$$10383 - 10300 = 83 \text{ кг/год.}$$

Кількість води, що випарюється

$$208,4 - 83 = 125,4 \text{ кг/год.}$$

Таблиця 2.6

### Зведений матеріальний баланс кристалізації

Прихід		Витрати	
Речовина	кг/год	Речовина	кг/год
Плав сечовина.....	10403	Гранульований продукт сечовина.....	10300
вода.....	208,4	вода.....	83
		Загалом.....	10383
Всього	10611,4	Пари	125,4
		води.....	103
		Втрати сечовини.....	
		Всього	10611,4

## 2.4 Тепловий баланс

*Тепловий розрахунок колони синтезу сечовини*

Синтез сечовини протікає автотермічно. Для утворення автотермічності процесу недостатню кількість тепла вводять з аміаком, для чього його підігривають. Необхідна температура нагріву аміаку визначається в процесі складання теплового балансу.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Вихідні дані

Температура реагентів, що надходить в колону (в °С):

рідкого аміаку.....	5
двоокису вуглецю.....	35
розчин амонійних солей.....	100
Температура в колоні (в °С).....	200
Критична температура аміаку (в °С).....	132,4
Тепло реакції утворення сечовини з карбамату при 200°С і надлишку аміаку 125% (в кДж/кмоль).....	19030

Залежність теплового ефекту реакції конверсії карбамату амонію від надлишку аміаку при 155-200°С

Надлишок аміаку.....	0	100	200	300
Тепловий ефект(в кДж/кмоль).....	14246	18436	20482	22626

Кількість вихідних реагентів і продуктів реакції прийняті згідно матеріального розрахунку.

*Прихід тепла.*

1) З газообразним двоокисом вуглецю (критична температура 31°С)

$$Q_1 = 7666,6 \cdot 67 = 513662 \text{ кДж/год}$$

де 67 – ентальпія двоокису вуглецю при 35°С і  $200 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ , кДж/кг

2) З іншими газами, що надходять з двоокисом вуглецю (приймаємо теплоємність по азоту)

$$Q_2 = 88 \cdot 1,026 \cdot 35 = 3160 \text{ кДж/год}$$

3) З рідким аміаком

$$Q_3 = 16428,4 \cdot 23 = 377853 \text{ кДж/год}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

де 23,0 – ентальпія рідкого аміаку при 5°C, кДж/кг

4) Тепло реакції утворення карбамату амонію

$$Q_4 = \frac{22041,9 \cdot (159320 - 25140)}{78} = 37917719 \text{ кДж/год}$$

де 159320 – тепло утворення твердого карбамату амонію з газоподібного аміаку і двоокису вуглецю (умовно прийнято, що утворення карбамату відбувається при кристалічній температурі аміаку 132,4°C), кДж/кмоль; 25140 – тепло плавлення карбамату амонію, кДж/кмоль.

Сумарний прихід тепла

$$Q_{\text{пр}} = 513662 + 3160 + 377853 + 37917719 = 38472394 \text{ кДж/год}$$

*Втрати тепла.*

1) На утворення сечовини

$$Q_1 = \frac{11021 \cdot 19030}{60} = 3495494 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

2) На підігрів реагуючої частини рідкого аміаку від 5°C до критичної температури 132,4°C при  $200 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  з одночасним переходом аміаку у газоподібний стана (за умовою прийнято, що утворення карбамату відбувається при критичній температурі аміаку)

$$Q_2 = 9608 \cdot (674 - 23) = 6254808 \text{ кДж/год}$$

де 674 – ентальпія аміаку при 132,4°C і  $200 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , кДж/кг.

3) На підігрів газоподібного двоокису вуглецю від 35 до 132,4 °C

$$Q_3 = 7666,6 \cdot (297,8 - 67) = 1769451 \text{ кДж/год}$$

де 297,8 – ентальпія двоокису вуглецю при 132,4°C і  $200 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , кДж/кг

4) На підігрів частини карбамату амонію, що перетворюється в сечовину від 132,4 до 200°C

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_4 = 16692 \cdot 1,954 \cdot (200 - 132,4) = 2205000 \text{ кДж/год}$$

де 1,954 – теплоємність карбамату амонію, кДж/кг·град.

5) Тепло, що виноситься з плавом сечовини

$$Q_5 = m_m c_m t + m_k c_k t + m_a i_a + m_b i_b + m_{аз} c_{аз} t$$

$$Q_5 = 11020,9 \cdot 2,243 \cdot 200 + 7714,5 \cdot 1,954 \cdot 200 + 12010,1 \cdot 1292 + 5894,4 \cdot 860,7 + 120,7 \cdot 1,047 \cdot 200 = 24748181 \text{ кДж/год}$$

де  $m_m, m_k, m_a, m_b, m_{аз}$  – маси сечовини, карбамату аміаку, води і азоту, кг/год;  
 $c_m, c_k, c_{аз}$  – теплоємності сечовини, карбамату, аміаку, азоту, кДж/кг·град;  $i_a, i_b$  – ентальпії аміаку і води, кДж/кг;  $t$  – температура, °С

Сумарні втрати тепла

$$Q_{втр} = 3495494 + 6254808 + 1769451 + 2205000 + 24748181 = 38472394 \text{ кДж/год}$$

Таблиця 2.7

### Зведений тепловий баланс синтезу речовини.

Прихід		Витрати	
Речовина	кДж/год	Речовина	кДж/год
З діоксидом вуглецю	513662	На утворення сечовини	34954946
З іншими зазами	3160	На підігрів аміаку	254808
З рідким аміаком	377853	На підігрів діоксиду вуглецю	1769451
Теплота утворення карбамату	37917719	На підігрів карбамату амонію з плавом сечовини	22050002 4748181
Всього	38472394	Всього	38472394

## 2.5 Розрахунок та підбір основного обладнання

Підбір проводиться від заданої продуктивності підприємства, на основі отриманих даних із розрахунків матеріального балансу. Основною апаратурою є колона синтезу, промивна колона, ректифікаційна колона, підігрівач, сепаратор, вакуум випарник, гранулятор.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

## Синтез

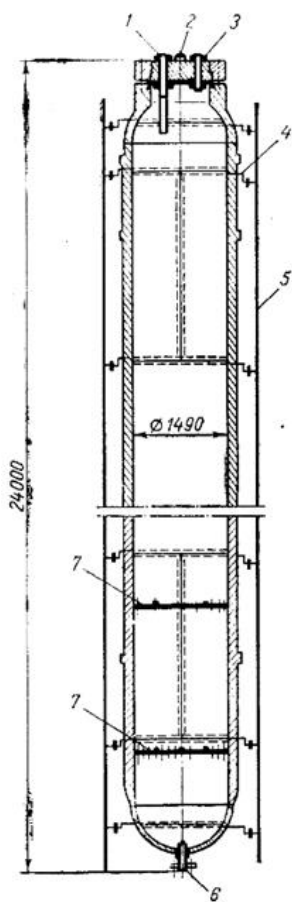


Рис. 2.2. Колонна синтезу. 1 – штуцер для виходу плаву, 2 – штуцер для подачі пару або азоту, 3 – карман для термопари, 4 – контрольні отвори, 5 – колектор, 6 – штуцер для вводу паро-рідинної суміші, 7 – перегородки.

На цій стадії застосовують колону синтезу (рис 2.2.) – це вертикальний циліндричний апарат високого тиску, з внутрішнім діаметром 1.5 м і висотою 24 м. корпус і кришка колони виготовлені вуглецевої низьколегованої сталі. У зв'язку з корозійною активністю середовища сучасні колони синтезу футеровані з внутрішньої сторони листами хромонікельмолібденової сталі 0X17H16M3T або сталі 0X17H13M3T, відрізняється від минулої марки зниженим вмістом нікелю. Обидві сталі працюють в умовах синтезу карбаміду протягом тривалого часу. В середині апарату встановлені перегородки (решітки) 7 для перемішування реакційної суміші. Внизу апарату розташований штуцер для входу парорідинної суміші 6, зверху – штуцер для виходу плаву 1, там же карман для термопари 3, що контролює температуру в колоні синтезу.

Об'єм даної колони складає 42 м<sup>3</sup> що повністю забезпечує потреби заданої продуктивності виробництва. [9]

## Дистиляція

На стадії дистиляції застосовуються наступні апарати:

Ректифікаційні колони першого та другого ступеня (рис 3.2. а) являють собою вертикальні циліндричні апарати діаметром 1.4 м і висотою 2,25 м, що мають сепаруючий пристрій - 1; насадку з металічних цілець - 2; люк - 3; штуцера для термопари - 4. Колони виготовлені з хромонікельмолібденової сталі марки X17H16M3T. Призначена для розкладання карбамату амонію і виділених продуктів розкладання, і вільного аміаку з розчину карбаміду.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

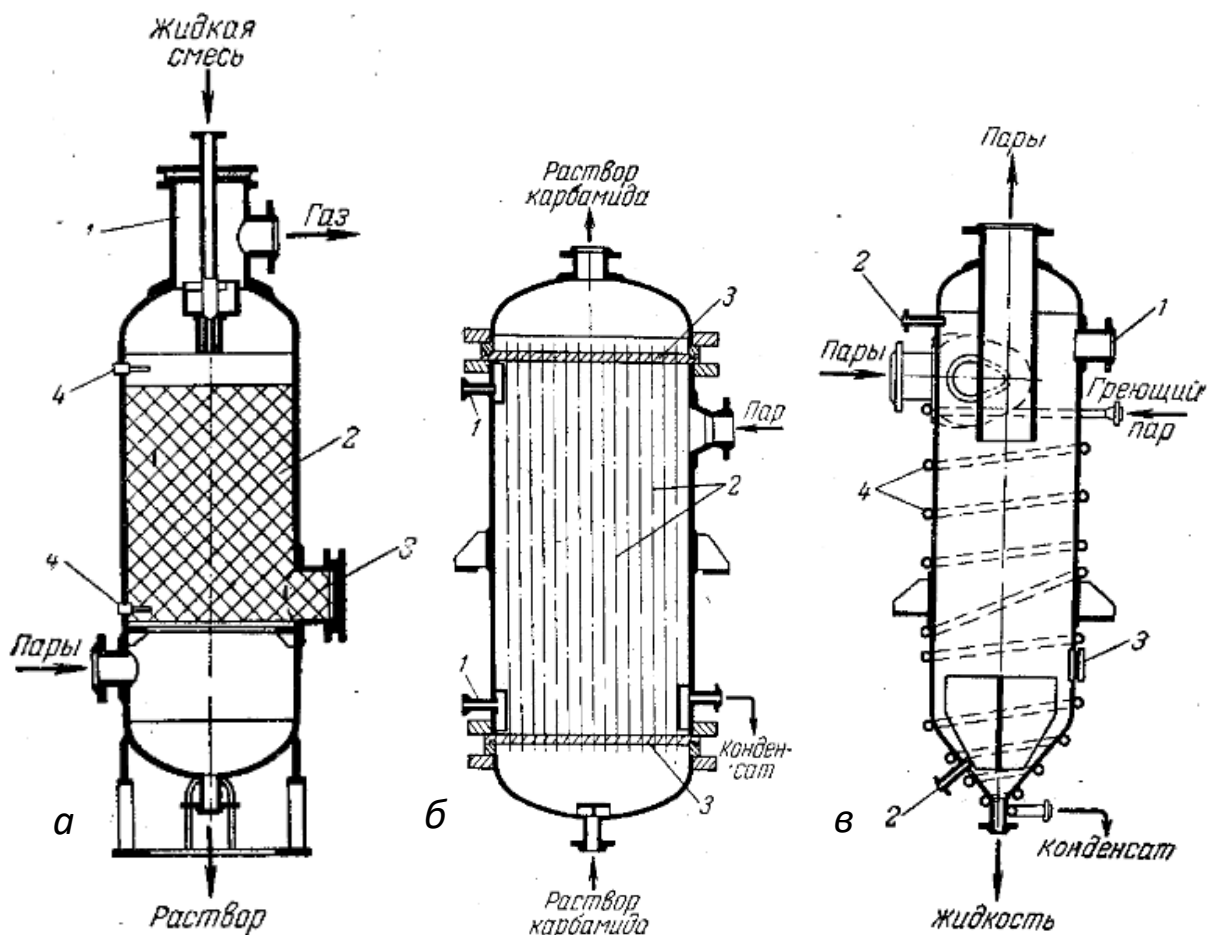


Рис. 3.2. Апарати вузла дистиляції: а) ректифікаційна колона; б) підігрівач; в) сепаратор.

Підігрівач (рис. 3.2. б) призначен для підігріву плаву , що надходить з колони ректифікації. Виконан у вигляді кожухотрубного теплообмінника, всі деталі котрого, що контактують з плавом виготовлені з хромонікельмолібденової сталі. Поверхня теплообміну складає 170 м<sup>2</sup> Конструкція апарата складається з: штуцера показу рівня - 1; теплообмінні труби - 2; трубна решітка - 3.

Сепаратор (рис 3.2. в) призначен для розділення паро-рідинної суміші, що подається з підігрівача на рідку та газову фази. Являє собою пустотілий циліндр діаметром 0,7 м. і висотою 3,03 м. з наружними обігрівам; апарат виконан з хромонікельмолібденової сталі. Складається з люка - 1; штуцера показання рівня - 2; скло рівнеміра - 3; зміювик – 4.

Конструкція вузла дистиляції розрахована на потужність агрегату до 250 т/добу. [23]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Випарювання

На стадії вакуум випарювання застосовують випарний апарат плівкового типу(рис 4.2.). Розчин надходить в нижню частину підігрівача (висота трубок 6-7 м.; в міжтрубний простір подається пара), де він закипає. Утворена пара піднімається догори, займаючи центральний простір кожної трубки. Рідина відкинута парою, що підіймається до стінок трубок у вигляді тонкого слою, захоплюється в результаті поверхневого тертя догори і викидається разом з вторинною парою у сепаратор. Концентрований розчин в сепараторі відділяється від вторинної пари і стікає донизу; вторинна пара відводиться у конденсатор. Апарат виготовлений зі сталі 1X18H9T.[2]

Для випарювання I-ї та II-ї стадії випарювання застосовують випарні апарати ротного типу(рис. 5.2.). Висота апарату складає 8 м, продуктивність 7000 кг/год. Тому для забезпечення продуктивності за розрахунком матеріального балансу необхідно два паралельно включених апарати з загальною поверхнею нагріву 25 м<sup>2</sup>, для кожної стадії. Апарат складається з: 1 – привід, 2 – електродвигун, 3 – кришка, 4 – штуцер для відводу вторинної пари, 5 – пластинчастий ротор, 6 – корпус, 7 – вал, 8 – парова рубашка, 9 – днище, 10 – штуцер для відводу розчину, 11 – штуцер для подачі розчину, 12 – сепаратор. [2]

## Грануляція

Для грануляції використовується грануляційна башта (рис 6.2.), яка являє собою виконану із залізобетону споруду заввишки 40 м і діаметром 16 м. Корзина гранулятора виконана із нержавіючої сталі марки 1X18H9T. Дана грануляційна башта має великий запас потужності, максимальна продуктивність 520000 кг/добу, що повністю забезпечує потреби виробництва за даними розрахунку матеріального балансу. Складається з таких конструкційних елементів: 1 – система передач, 2 – залізобетонне перекриття, 3 – гранулятор, 4 – залізобетонний корпус башти, 5 – вікна для подачі повітря, 6 – конічні секції днища, 7 – штуцер до вентилятору.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

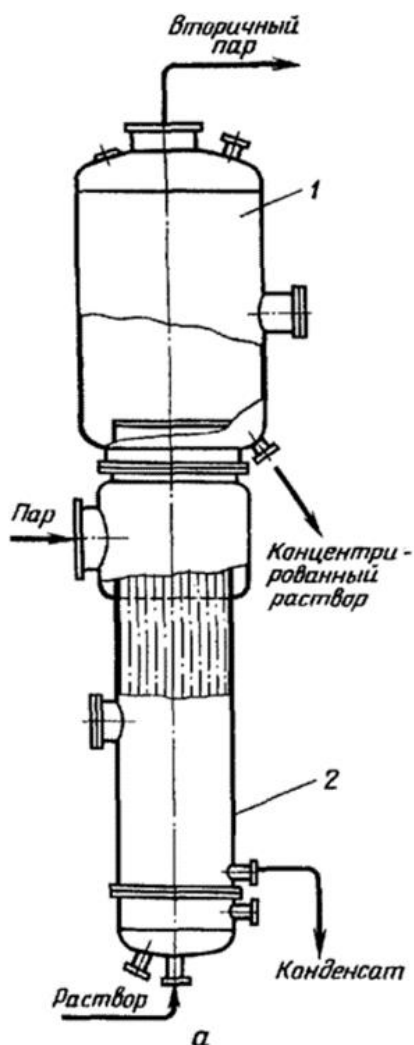


Рис.4.2. Випарний апарат плівкового типу: 1 – Сепаратор, 2- Підігрівач

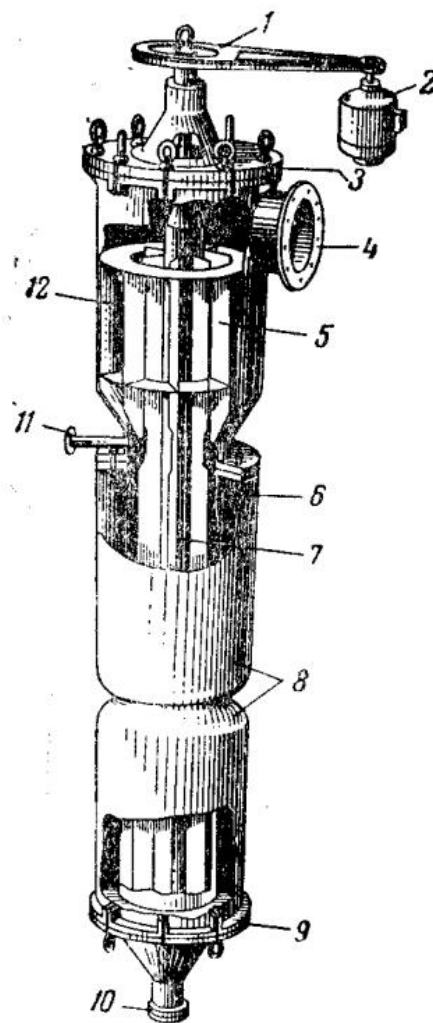


Рис. 5.2. Випарний апарат роторного типу.

### Промивна колона

Являє собою вертикальний циліндричний апарат (рис. 7.2.) діаметром 1,4 м і заввишки 7 м. Апарат виготовлен з хромонікельмолібденової сталі. Конструкція апарат складається з: 1- кришка, 2 – сепаруючий пристрій, 3 – штуцера для термопар, 4 – зрошувальний пристрій, 5 – корпус, 6 – насадка, 7 – лапа, 8 – люк, 9 – барботажний пристрій, 10 – гріючий елемент, 11 – днище, 12 – штуцер для спорожнення колон, 13 – штуцера для регулювання рівня.[27]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

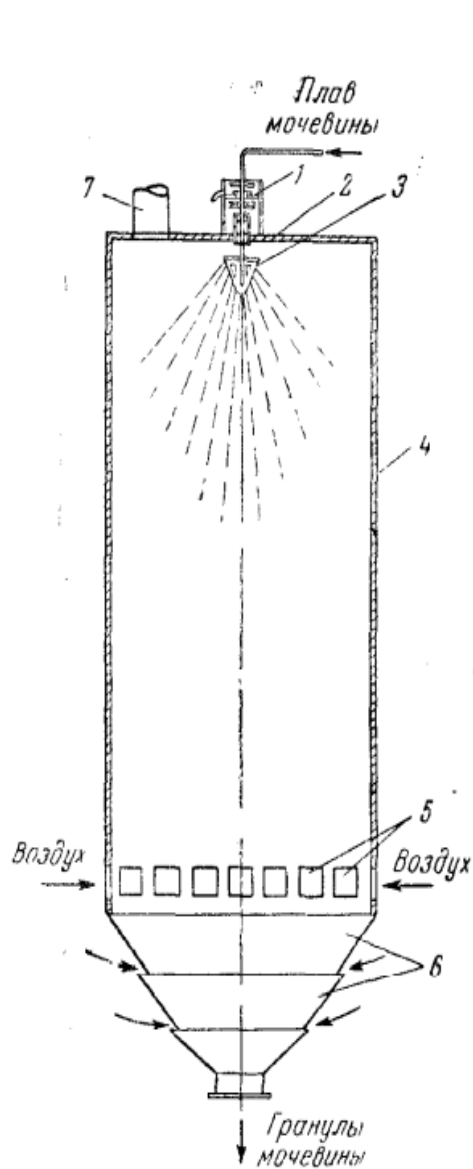


Рис.6.2. Грануляційна башта

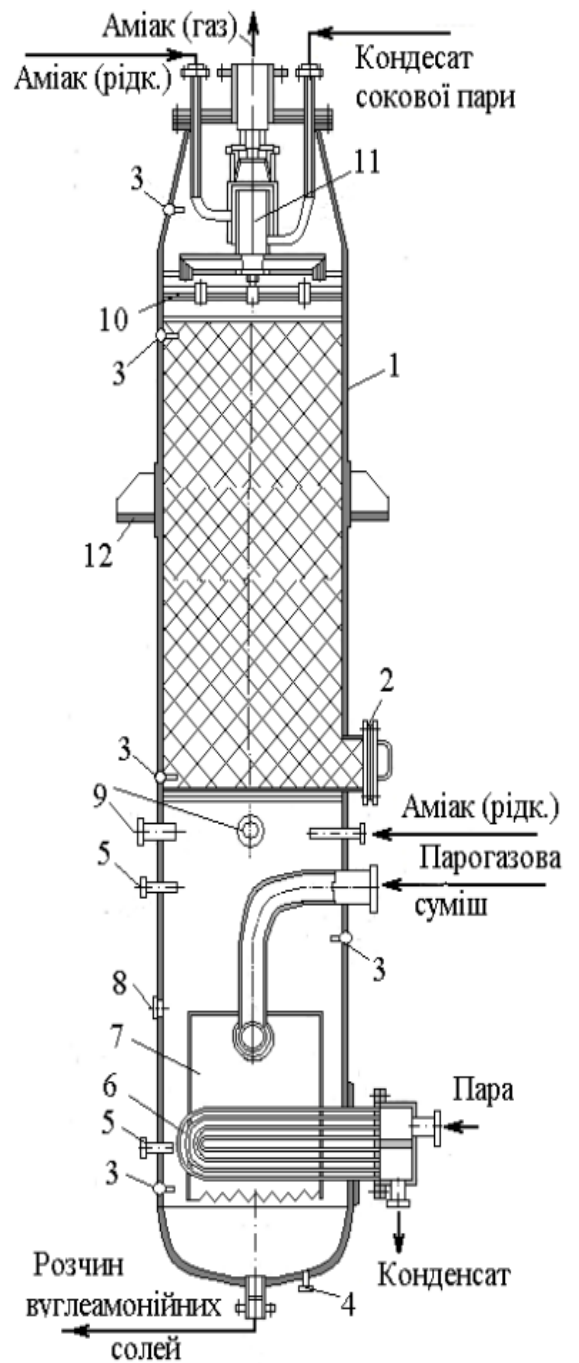


Рис.7.2. Промивна колона

## Насоси

В табл 2.8 наведені основні насоси, що використовуються під час виробництва гранульованого карбаміду.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Основні насоси, що використовуються на виробництві

	<p>Насос для вуглеамонійних солей –плунжирний насос, марка – ХТр8/110 ; продуктивність - 8 м<sup>3</sup>/год;</p>
	<p>Насос для вузла дистиляції – відцентровий насос, марка – РА-6900, продуктивність 40 м<sup>3</sup>/год. Частота вращения, об/мин – 3 000 Висота подачі, м. вод.ст. – 40 Потужність – 5,5 кВт [24]</p>
	<p>Насос подачі плаву на випарювання та грануляцію – відцентровий насос, марка 2Х-9 К , Напор, м - 50; Частота вращения, об/мин - 3000; Потужність електродвигуна, кВт - 3. Продуктивність – 20 м<sup>3</sup>/год [25]</p>
	<p>Вакуумний насос 2BV5121 Частота вращения, об/мин - 1450; Потужність електродвигуна, кВт – 7,5. Продуктивність – 280 м<sup>3</sup>/год [26]</p>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Загальний список обладнання наведено в табл. 2.9

Таблиця 2.9

### Технологічне обладнання процесу виробництва

№	Назва	Марка	Продуктивність	Кі-ть
1	Колона синтезу		42 м <sup>3</sup>	1
2	Ректифікаційна колона		250 т/добу	2
3	Сепаратор		250 т/добу	2
4	Вакуум випарник		15000 кг/год	1
5	Випарник роторного типу		7000 кг/год	4
6	Гранулятор		520 т/добу	1
7	Насос плунжирний	ХТр8/110	8 м <sup>3</sup> /год	1
8	Відцентровий насос	РА-6900	40 м <sup>3</sup> /год	4
9	Відцентровий насос	2Х-9	20 м <sup>3</sup> /год	4
10	Підігрівач		F=247м <sup>2</sup>	2
11	Вакуум насос	2BV5121	280 м3/год	1

### 2.6 Опис апаратурно технологічної схеми

На малюнку 8.2. представлена апаратурно технологічна схема. Діоксид вуглецю, який не містить сірчистих сполук та механічних домішок, стискають у п'ятиступінчастих поршневих компресорах або у турбокомпресорах до тиску 20 МПа. Після кожної ступені стискання встановлен холодильник для охолодження газу, що нагрівається при стисканні. Лише після останньої ступені стиснутий СО<sub>2</sub> не охолоджується, так як для синтезу карбаміду необхідна температура діоксиду вуглецю близько 100°C. Перед першим ступенем стиснення до СО<sub>2</sub> додають кисень (0,5% від об'єму СО<sub>2</sub>), в присутності якого утворюється пасивна плівка і зменшується корозія обладнання.

Рідкий аміак під тиском 2-2,5 МПа проходить холодильник, в якому охолоджується аміаком, що випаровується до 15-20°C, та плунжирним насосом подається під тиском 20 МПа у підігрівач. Тут аміак нагрівається до 90-95 °C і надходить у змішувач 1. У цей же змішувач надходить стислий СО<sub>2</sub>, а також плунжерним насосом 18 з промивної колони 4 системи дистиляції

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подається розчин вуглеамонійних солей. Мольне співвідношення  $[\text{NH}_3]:[\text{CO}_2]:[\text{H}_2\text{O}] = 4,5:1:0,5$ .

В змішувачі утворюється карбонат амонію та температура суміші на виході з апарату підвищується до  $175\text{ }^\circ\text{C}$ . Потім суміш надходить у колону синтезу 2, де при тиску 20 МПа, температурі близької до  $200\text{ }^\circ\text{C}$  і протягом 45 хвилин закінчується отримання карбонат амонію і йде перетворення його у карбамід. Ступінь перетворення карбамату у карбамід становить 65%. Плав, що виходить зверху колони синтезу, має наступний склад (в мас. %): карбамід – 29-31;  $\text{NH}_3$  – 40-42;  $\text{CO}_2$  – 10-12;  $\text{H}_2\text{O}$  – 18-20. Він надходить на двоступінчасту дистиляцію.

Процес дистиляції першого ступеня ведуть під тиском 1,8-2 МПа. У цьому випадку  $\text{NH}_3$ , і  $\text{CO}_2$ , виділяються під тим же тиском, що дозволяє повністю відмити газоподібний аміак від  $\text{CO}_2$ , виділити його при охолодженні водою в конденсаторі в рідкому вигляді і повернути в колону синтезу карбаміду.

Плав, що виходить з колони синтезу 1, дроселюється до тиску 2 МПа і надходить у колону ректифікації першого ступеня 5. При дроселюванні частина надлишкового аміаку виділяється з плаву в газову фазу, тому температура суміші на вході в ректифікаційну колону першого ступеня знижується до  $120\text{ }^\circ\text{C}$ . У цій колоні плав стікає по насадці зверху донизу протитечею газу, що виходить із сепаратора першого ступеня 7 за температури близько  $160\text{ }^\circ\text{C}$ . Плав в ректифікаційній колоні підігрівається до  $140\text{ }^\circ\text{C}$  газами які поступають з сепаратора. Потім у підігрівачі першого ступеня 6 плав нагрівається водяною парою до  $160\text{ }^\circ\text{C}$ .

В апаратах 5 та 6 майже повністю завершуються процеси розкладання карбонату амонію та відгону надлишкового аміаку. У сепараторі 7 відбувається розділення газової та рідкої фаз, причому газ повертаються в ректифікаційну колону і далі надходять у нижню частину промивної колони 4. Тут при нагріванні водяною парою трубок парового підігрівача, зануреного в

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

шар рідини, підтримується температура 95°C. Склад газів (в мас. %) наступний: NH<sub>3</sub> – 73-74; CO<sub>2</sub> – 21-22; H<sub>2</sub>O – 4,5-5.

На верх промивної колони подається рідкий аміак та аміачна вода. Температура у верхній частині промивної колони дорівнює 45°C. На насадці та барботажній частині колони 4 з газової фази вимивається CO<sub>2</sub> з утворенням водного розчину вуглеамонійних солей, а з колони зверху виходить газоподібний NH<sub>3</sub>, і зріджується в конденсаторі 3, який охолоджується водою. Зріджений аміак повертають назад у процес; не сконденсовані гази, що містять також аміак, поступають у систему абсорбції (на схемі не показано). Водний розчин вуглеамонійних солей, що виходить з нижньої частини промивної колони з температурою 143-145°C, плунжерним насосом високого тиску 18 направляють в змішувач 1, а потім колону синтезу карбаміду 2.

Розчин карбаміду після сепаратора першого ступеня 7 має наступний склад (у мас. %): карбамід – 60-62; вода – 28-30; карбонат амонію – 4-5, надлишковий аміак – 6-7. Для остаточного розкладання карбонату амонію та відгону NH<sub>3</sub>, і CO<sub>2</sub> розчин дроселюють до 0,3 МПа і температура зменшується до 110°C, а потім він проходить послідовно ректифікаційну колону другого ступеня 9 в якій рідка фаза підігривається до 130°C газами які поступають з сепаратора 11, і надходить у підігривач 10 і сепаратор 11. У підігривачі другого ступеня розчин нагрівається водяною парою до 145 °C. З нижньої частини сепаратора 11 виходить 70-72%-вий водний розчин карбаміду, а з його верхньої частини – парогазова суміш, що містить NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O. Ці гази надходять у нижню частину ректифікаційної колони другого ступеня 9. З верхньої частини колони виходить газова суміш, яка містить (в мас. %): NH<sub>3</sub> – 50-51; CO – 18-19 і H<sub>2</sub>O – 31-32, яка в конденсаторі другого ступеня 8 охолоджується водою і конденсується з утворенням водного розчину вуглеамонійних солей. Останній насосом направляється в нижню частину промивної колони 4. Тут він змішується з більш концентрованим розчином і насосом 19 подається у змішувач 2, а далі повертається до колони синтезу

карбаміду. Несконденсовані гази, які містять  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$ , з апарату 8 також поступають на абсорбцію (на схемі не вказано), де вони очищуються від шкідливих речовин перед вихлопом у атмосферу.

Розчин карбаміду з сепаратора другого ступеня надходить у вакуум-випарник 13, де при тиску 40 кПа він концентрується до 74% і подається на упарювання. Водяні пари, що утворюються внаслідок самовскипання розчину при створенні вакууму, що конденсуються в апараті 12 при охолодженні водою. Вакуум в системі створюється шляхом конденсації пару і при відсмоктуванні несконденсованих газів вакуум-насосом.

Розчин послідовно упарюють у випарних апаратах першої та другої ступені 15 і 16 відповідно при температурі 120-125 °С і тиску 30-40 кПа і 130-140 °С і тиску близько 3-5 кПа. Отриманий плав карбаміду концентрацією 99,7-99,8 мас. % подається в грануляційну вежу 17 і розпорошується у ній. Утворені дрібні часточки при падінні до низу охолоджуються у полому об'ємі вежі потоком повітря, що йде знизу нагору, і перетворюється на гранули. Діаметр грануляційної вежі 16 м., висота 40 м.

Охолоджений карбамід при температурі 60-70°С транспортером подається на розсівання, знепилення, додаткове охолодження та пакування або склад (ці стадії на схемі не зображені). Товарний карбамід у вигляді гранул розміром 1-4 мм. застосовують у сільському господарстві. Кристалічний карбамід отримують у кристалізаторах.

На сучасних установках потік повітря з грануляційних веж промивається для видалення дрібних частинок кабаміду і потім викидається у атмосферу.[8,9]

На онові проведеного літературного огляду технічних характеристик різних конструкцій було обрано випарний апарат із сумісною гріючою камерою. Його перевага в тому, що за габаритними розмірами він менший ніж випарний апарат з виносною камерою.

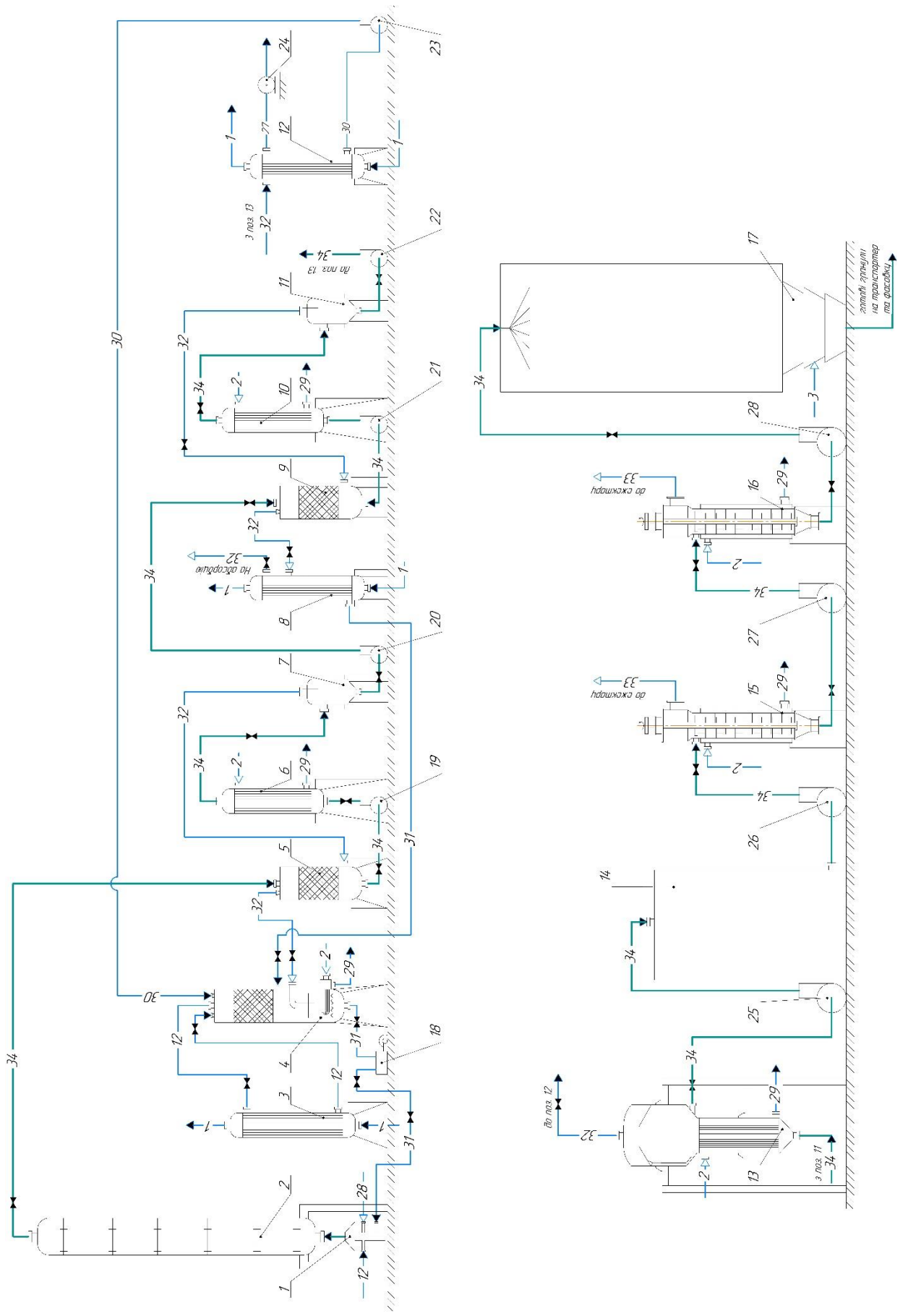


Рис. 8.2. Апаратурно-технологічна схема.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 2.7 Розрахунок апарату

Завдання на проектування. Спроекувати однокорпусну випарну установку для концентрування  $G_{\text{п}} = 15000$  кг/год (4,2 кг/с) водного розчину карбаміду від початкової масової концентрації  $x_{\text{п}} = 70,2$  % до кінцевої  $x_{\text{к}} = 75,4$  % (мас.) за таких умов:

- 1) обігрівання здійснюється насиченою водяною парою з тиском  $P_{\text{с.п}} = 0,8$  МПа;
- 2) абсолютний тиск у паровому просторі випарного апарата  $P_{\text{б.к}} = 0,4$  Мпа;
- 3) температура розчину, що надходить в установку,  $t_0 = 140$  °С;
- 4) температура розчину, що надходить у випарний апарат  $t_1 = 95$  °С;
- 5) початкова температура охолоджувальної води  $t = 28$  °С;
- 6) температура суміші охолоджувальної води і конденсату, що виходить з барометричного конденсатора, нижча від температури конденсації на  $\Delta t = 40$  °С;

### *Технологічний розрахунок*

#### 2. Матеріальний баланс випарного апарата

Кількість випареної води визначається за формулою (3.4):

$$W = G_{\text{к}} - G_{\text{п}} = G_{\text{п}}(1 - x_{\text{п}}/x_{\text{к}});$$

$$W = 4,2(1 - 70,2/75,4) = 0,2896 \approx 0,3 \text{ кг/с.}$$

Кількість випареного розчину, згідно з (3.1):

$$G_{\text{п}} = G_{\text{к}} + W;$$

$$G_{\text{к}} = 4,2 - 0,3 = 3,9 \text{ кг/с.}$$

### *Тепловий розрахунок*

#### 2.1. Визначення температури кипіння розчину.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температуру кипіння розчину визначають за формулою:

$$t_{\text{кип}} = t_{\text{втор.пар}} + \Delta.$$

Температура вторинної пари  $t_{\text{втор.пар}}$ , яка надходить із випарного апарата в барометричний конденсатор при  $p = 0,1232$  Мпа, дорівнює  $105^{\circ}\text{C}$ .

$\Delta$  – температурні втрати на різних ділянках вакуум-випарної установки, загальна величина яких складається з температурної  $\Delta'$ , гідростатичної  $\Delta''$  та гідравлічної  $\Delta'''$  депресій, визначаються згідно

На підставі практичних рекомендації приймаємо гідравлічну депресію  $\Delta''' = 1^{\circ}\text{C}$ . Тоді температура вторинної пари у випарному апараті:

$$t'_{\text{втор.пар}} = 105 + 1 = 106^{\circ}\text{C}.$$

Цій температурі відповідає тиск  $p'_n = 0,1253$  Мпа, теплота пароутворення

$$r = 2245,2 \text{ кДж/кг}.$$

Щоб визначити гідростатичну депресію  $\Delta'$ , спочатку знаходимо висоту оптимального рівня розчину в кип'ятильних трубах. Для вибору значення труби  $H$  орієнтовно встановлюємо площу поверхні теплопередачі випарного апарата  $F_{op}$  (3.7). При кипінні водних розчинів солей питоме теплове навантаження для апаратів з природною циркуляцією  $q = 20000\text{--}50000$  Вт/м<sup>2</sup>. Приймаємо  $q = 25000$  Вт/м<sup>2</sup>. Тоді:

$$F_{op} = Q/q = (W \cdot r)/q;$$

$$F_{op} = 0,3 \cdot 2245,2 \cdot 10^3 / 30000 = 22,452 \text{ м}^2.$$

За ГОСТ11987-81 вибираємо випарний апарат з такими характеристиками:

- поверхня теплообміну  $25 \text{ м}^2$ ;
- довжина труб  $7000 \text{ мм}$ ;

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- діаметр труб 57×2,5 мм;
- крок між трубами 70 мм;
- матеріал труб-сталь 1Х18Н9Т.
- D – не менше за 600мм; не більше за 1000мм
- Н – не більше за 11000 мм

Орієнтовно приймаємо температуру кипіння розчину в апараті на 20 °С більшою від температури вторинної пари, тобто температура кипіння  $\approx 126$  °С. Відповідно, згідно із (3.6. б), оптимальний рівень розчину в трубах випарного апарата:

$$H_{opt} = H[0,26 + 0,0014(\rho_p - \rho_v)];$$

$$H_{opt} = [0,26 + 0,0014(1176 - 937,96)] \cdot 7 = 4,15 \text{ м,}$$

де 1176 і 937,96 кг/м<sup>3</sup> – густина розчину і води за температури 126 °С.

Отже, тиск у середньому шарі кип'ятильних труб:

$$P_{сер} = p'_{втор.пар} + (\rho_p \cdot g \cdot H_{opt} / 2);$$

$$P_{сер} = 0,1253 + (1176 \cdot 9,81 \cdot 4,15 / 2 \cdot 10^6) = 0,149 \text{ Мпа.}$$

Цьому тиску відповідає температура кипіння води  $t = 110$  °С і теплота пароутворення  $r = 2230,76$  кДж/кг.

Тоді гідростатична депресія, за (3.8):

$$\Delta'' = t_v - t'_{втор.пар};$$

$$\Delta'' = 110 - 106 = 4 \text{ °С}$$

Температурна депресія визначається за формулою:

$$\Delta' = 16,2 T^2 \Delta''_{атм} / r,$$

$$\Delta' = 16,2(273+110)^2 \cdot 18,28 / (2230,76 \cdot 10^3) = 19,47 \approx 19,5 \text{ °С,}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

де  $\Delta_{атм} = 18,28 \text{ }^\circ\text{C}$  – температурна депресія 75,4 % розчину за атмосферного тиску.

Температура кипіння розчину:

$$t_{кип} = t_{втор.пар} + \Delta,$$

$$t_{кип} = 106 + 19,5 + 4 + 1 = 130,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

1.1. Корисна різниця температур:

$$\Delta t_{кор.} = T - t_{кип},$$

$$\Delta t_{кор} = 170,4 - 130,5 = 39,9 \text{ }^\circ\text{C},$$

де  $T = 170,4 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура конденсації гріючої пари, яка визначається за тиском гріючої пари згідно з табл.

Витрату гріючої пари  $G_{г.п.}$  визначаємо із рівняння теплового балансу:

$$G_{г.п.} = (W i_{в.п.} + G_k c_k t_{кип} - G_{п.п.} c_{п.п.} t_1) / (r_{г.п.} \cdot 0,95)$$

$$G_{г.п.} = \frac{0,3 \cdot 2683,44 \cdot 10^3 + 3,9 \cdot 1845 \cdot 130,5 - 4,2 \cdot 1875,7 \cdot 75,4}{0,95 \cdot 2047,5 \cdot 10^3}$$
$$= 0,59 \text{ кг/с}$$

де  $i = 2683,44 \text{ кДж/кг}$  – ентальпія вторинної пари;  $C_n = 1875,7 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  – питома теплоємність 70,2 % розчину;  $C_k = 1845 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  – питома теплоємність випареного розчину;  $r_{г.п.} = 2047,5 \text{ кДж/кг}$  – питома теплота пароутворення води при  $P_{г.п.} = 0,8 \text{ Мпа}$ ; 0,95 – коефіцієнт, який враховує 5 % втрати теплоти.

Теплове навантаження нагрівальної камери:

$$Q_{г.к.} = G_{г.п.} \cdot r_{г.п.};$$

$$Q_{г.к.} = 0,59 \cdot 2047,5 \cdot 10^3 = 1208 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі.

Кількість труб нагрівальної камери знаходять за формулою:

$$n = F / (\pi \cdot d \cdot H);$$

$$n = 25 / (3,14 \cdot 0,057 \cdot 7) = 19,95 \approx 20$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Густина стікання конденсату по зовнішній поверхні труб визначається за формулою:

$$\Gamma = G_{z.n.}/\Pi;$$

$$\Gamma = 0,59/(20 \cdot 3,14 \cdot 0,057) = 0,165 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}).$$

Критерій  $Re_{пл}$  для плівки конденсату визначається за формулою:

$$Re_{пл} = 4\Gamma/\mu;$$

$$Re_{пл} = 4 \cdot 0,165 / (0,01508 \cdot 10^{-3}) = 43766$$

де  $\mu = 0,01508 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  – динамічний коефіцієнт в'язкості води за температури конденсації  $t = 170,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Оскільки  $Re_{пл} < 400$ , то значення  $Nu_{пл}$  знаходять за формулою:

$$Nu_{пл} = 1,86 / Re_{пл}^{0,33}$$

$$Nu_{пл} = 1,86 / 43766^{0,33} = 0,05469 \approx 0,055$$

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  від водяної пари до стінок труб розраховують згідно з (3.19):

$$\alpha_1 = Nu_{пл} \cdot \delta_{прив} / \lambda,$$

$$\alpha_1 = 0,055 \cdot 3,13 / (0,595 \cdot 10^{-4}) = 3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

приведена товщина плівки:  $\delta_{прив} = [\mu^2 / (\rho^2 g)]^{0,33}$  приведена товщина плівки, м.

$$\delta_{прив} = [(0,01508 \cdot 10^{-3})^2 / (4,14^2 \cdot 9,81)]^{0,33} = 0,595 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

де  $\rho = 4,14 \text{ кг}/\text{м}^3$  – густина води за температури конденсації  $t = 170,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  від стінки до киплячого розчину визначається за умов бульбашкового кипіння на внутрішній поверхні вертикальних труб, яке найчастіше спостерігається в умовах роботи випарних установок.

Для апаратів з природною циркуляцією розчину  $\alpha_2$  розраховують за рівнянням:

$$\alpha_2 = c \cdot \frac{\lambda}{\delta} (0,25 Re_{пл})^n \left( \frac{q\delta}{\lambda t_{в.п.}} \right)^m$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності киплячого розчину,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\delta$  – товщина плівки, м, яку розраховують як:

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta = \left( \frac{3}{4} \cdot \frac{v^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot Re_{пл}^{\frac{1}{3}},$$

$$\delta = \left( \frac{3}{4} \cdot \frac{0.001254^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 43766^{\frac{1}{3}} = 0,174,$$

$$\alpha_2 = 163 \cdot \frac{0,42}{0,174} (0,25 \cdot 43766)^{-0,264} \left( \frac{1208 \cdot 10^3 \cdot 0,174}{0,42 \cdot 106} \right)^{0,685} = 270793$$

де,  $v$  – кінематична в'язкість розчину,  $0.001254 \text{ м}^2/\text{с}$ ; критерій Рейнольдса  $Re_{пл}$ ;  $q$  – питоме теплове навантаження апарата,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $t_{в.п.}$  – температура вторинної пари,  $^{\circ}\text{C}$ . Значення коефіцієнтів і показників степеня в рівнянні:

якщо  $q < 20000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ :  $c = 163,1$ ,  $n = -0,264$ ;  $m = 0,685$ ;

якщо  $q > 20000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ :  $c = 2,6$ ,  $n = 0,203$ ;  $m = 0,322$ ;

Константи розчину за температури кипіння:  $\rho = 1180 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\mu = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ,

$\lambda = 0,42 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $c = 1228,2 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ,  $\sigma = 36 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}$ .

Властивості водяної пари при  $p = 0,4 \text{ Мпа}$ ,  $r = 2227,03 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ ,

$\rho_{п.} = 0,86 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Густина водяної пари при  $p = 0,1 \text{ Мпа}$ ,  $\rho_0 = 0,579 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Отже,

Коефіцієнт теплопередачі визначається за:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + r_1 + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_2 + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{6436} + \frac{1}{5000} + \frac{0,002}{16,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5,943 \cdot q^{0,6}}} =, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

де  $d_{тр} = 0,002 \text{ м}$  – товщина стінки труби;  $\lambda_{тр} = 16,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  – коефіцієнт теплопровідності сталі 1X18Н9Т;  $1/r_1 = 5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – теплопровідність забруднення з боку розчину;  $1/r_2 = 5800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – теплопровідність забруднення з боку пари.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питоме теплове навантаження:

$$q = \Delta t_{\text{кор}} K = \frac{\Delta t_{\text{кор}}}{0,6335 \cdot 10^{-3} + 0,1775/q^{0,6}}$$

звідки  $\Delta t_{\text{кор}} = 0,6335 \cdot 10^{-3} q + 0,1775 q^{0,4}$ .

Розраховуємо питоме теплове навантаження методом послідовних наближень: задаємо безрозмірне значення  $q$  (табл 2.10), здійснюємо розрахунок  $\Delta t_{\text{кор}}$  і за отриманими значеннями будуємо графік  $q - \Delta t_{\text{кор}}$ . (рис. 9.2)

Таблиця 2.10

**Данні для побудови графіку та визначення  $q$**

$q, \text{Вт/м}$	$35 \cdot 10^3$	$45 \cdot 10^3$
$\Delta t_{\text{кор}}$	36,8	44,7

Із графіка визначаємо, що для попередньо розрахованого значення

$\Delta t_{\text{кор}} = 39,9 \text{ }^\circ\text{C}$  питоме теплове навантаження  $q = 39,14 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ .

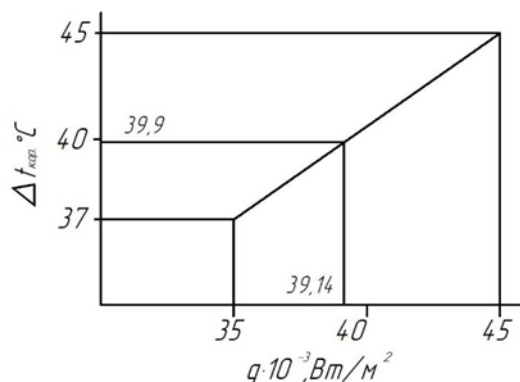


Рис. 9.2. Визначення питомого теплового навантаження випарного апарата

Коефіцієнт теплопередачі (3.23):

$$K = q/\Delta t_{\text{кор}},$$

$$K = 39,14 \cdot 10^3/39,9 = 980,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Необхідна площа поверхні теплообміну випарного апарата (3.24):

$$K = q/\Delta t_{кор},$$

$$F = 1208 \cdot 10^3 / (980,9 \cdot 39,9) = 30,86 \text{ м}^2.$$

За ГОСТ 11987-81 вибираємо номінальну поверхню теплообміну  $F_H = 40 \text{ м}^2$ .

Оскільки розрахована площа поверхні теплообміну значно відрізняється від орієнтовно визначеної раніше величини  $F_{ор}$ , повторно обчислюємо коефіцієнт теплопередачі  $K$  на основі розрахованої площі поверхні теплообміну. В результаті отримаємо: кількість труб нагрівальної камери  $n = 32$  шт.;

- густина стікання конденсату по зовнішній поверхні труб  $\Gamma = 0,103$  кг/(м·с);
- критерій  $Re_{пл}$  для плівки конденсату  $Re_{пл} = 27321$ ;
- критерій  $Nu_{пл} = 0,064$ ;
- коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1 = 3,4$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);
- коефіцієнт теплопередачі  $K = 1/(0,6225 \cdot 10^3 + 0,1775/q^{0,6})$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_{кор} = 0,6255 \cdot 10^{-3} q + 0,1775 q^{0,4}.$$

Задаємо безрозмірні значення  $q$  (табл 2.11), виконуємо розрахунок  $\Delta t_{кор}$  і за отриманими даними будуємо графік  $q - \Delta t_{кор}$

Таблиця 2.11

**Данні для побудови графіку та визначення  $q$**

$q$ , Вт/м	$35 \cdot 10^3$	$45 \cdot 10^3$
$\Delta t_{кор}$	36,8	44,7

Корисній різниці температур  $\Delta t_{кор} = 39,9 \text{ }^\circ\text{C}$  відповідає питоме теплове навантаження  $q = 38,92 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$ .

Коефіцієнт теплопередачі

$$K = 38,92 \cdot 10^3 / 39,9 = 975,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Площа поверхні теплообміну:

$$F = 1202 \cdot 10^3 / (975,4 \cdot 39,9) = 31,038 \text{ м}^2.$$

За ГОСТ 11987-81 вибираємо номінальну площу поверхні теплообміну  $F_H = 40 \text{ м}^2$ .

**Конструктивний розрахунок:**

Внутрішній діаметр обичайки нагрівальної камери  $D_K$ , якщо труби розміщені у вершинах рівносторонніх трикутників, згідно з:

$$D_K = \sqrt{(1,27nt^2 \sin \alpha / \psi) + (d_t + 2t)};$$

$$D_K = \sqrt{\left(\frac{1,27 \cdot 32 \cdot 0,07^2 \cdot \sin 60}{0,85}\right) + (0,2 + 2 \cdot 0,07)} = 0,518 \text{ м}.$$

де  $d_t$  – діаметр центральної циркуляційної труби,  $t$  – крок між трубами,  $t = 0,07$  м;  $\psi$  – коефіцієнт використання трубної решітки  $\psi = 0,85$ ;  $n$  – кількість труб,  $n = 32$  шт.

Приймаємо  $D_K = 600$  мм.

Знайдене значення  $D_K$  не повинно бути меншим за відповідну величину за ГОСТ 11987-81 (додаток 1).

Розрахунок діаметра обичайки сепаратора. Допустиме напруження парового простору:

$$W' = f_1 f_2 W_{атм};$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$W' = 3,1 \cdot 1,0 \cdot 1500 = 4650 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}),$$

де 3,1 – коефіцієнт, який залежить від тиску в апараті; 1,0 – коефіцієнт, який залежить від рівня розчину над точкою введення парорідинної суміші в паровий простір,  $W'_{амм} = 1500 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$  – допустиме напруження парового простору при  $p = 0,4 \text{ Мпа}$ .

Об'єм парового простору (сепаратора) випарного апарата:

Діаметр обичайки сепаратора:

$$D_c = \sqrt{W \cdot \frac{v_n}{w_n \cdot 0,785}}$$

$$D_c = \sqrt{0,3 \cdot \frac{0,46}{4,4 \cdot 0,785}} = 0,199 \text{ м}$$

де  $v_n = 0,46 \text{ м}^3/\text{кг}$  – питомий об'єм пари при  $p = 0,4 \text{ Мпа}$ ;  $w_n = 4,4 \text{ м/с}$  – допустима швидкість пари в сепараторі.

Приймаємо  $D_c = 0,2 \text{ м}$ .

Уточнюємо швидкість пари в сепараторі:

$$w_{п} = \sqrt{0,3 \cdot 0,46 / (0,785 \cdot 0,2^2)} = 2,096 \text{ м/с}$$

Критерій Рейнольдса для пари:

$$Re = w_n d_k \rho_n / \mu_n,$$

$$Re = 2,096 \cdot 0,0006 \cdot 2,16 / (13,67 \cdot 10^{-6}) = 198,7 ,$$

де  $d_k = 0,0006 \text{ м}$  – діаметр краплі;  $\rho_n = 2,16 \text{ кг/м}^3$  – густина пари за

$p = 0,4 \text{ Мпа}$ ;  $\mu = 13,67 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  – в'язкість пари за  $p = 0,4 \text{ Мпа}$ .

$Re < 500$ , тоді коефіцієнт опору  $\zeta$  розраховуємо за формулою

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\xi = 18,5/198,7^{0,6} = 0,773.$$

Швидкість витання краплі :

$$w_{\text{ВИТ}} = \sqrt{4g\rho_p - \rho_{\text{П}})d_k / (3\xi\rho_{\text{П}})},$$

$$w_{\text{ВИТ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot (1180 - 2,16) \cdot 0,0006}{3 \cdot 0,773 \cdot 2,16}} = 5.536 \text{ м/с}$$

де  $d_k$  – діаметр краплі, м;  $\rho_p$  і  $\rho_n$  – густина відповідно рідини і пари, кг/м<sup>3</sup>;

$\xi$  – коефіцієнт опору.

Швидкість руху пари у паровому просторі менша, ніж швидкість витання краплі.

Висоту парового простору знаходять із попередньо визначеного об'єму сепаратора  $V_c$

$$H = W/q';$$

$$H = 4 \cdot 0,23 / (3,14 \cdot 0,2^2) = 2,153 \text{ м.}$$

Приймаємо  $H$  за 2,2

Розраховані розміри випарного апарата відповідають вимогам ГОСТ 11987-81.

Діаметр вхідної труби  $D_{\text{вх}}$ , по якій парорідинна суміш надходить із нагрівальної камери у сепаратор, визначається із співвідношення

$$D_c = (3,5-4)D_{\text{вх}}.$$

$$\text{Отже, } D_{\text{вх}} = 0,2/4 = 0,05 \text{ м.}$$

Визначення діаметра штуцерів.

Діаметр штуцерів знаходимо за рівнянням:

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}}$$

Приймаємо для розрахунку швидкості руху гріючої пари  $w_{г.п} = 20$  м/с, конденсату  $w_{конд} = 0,5$  м/с, вторинної пари  $w_{в.п} = 50$  м/с, вихідного розчину  $w_{р1} = 2$  м/с, випареного розчину  $w_{р2} = 0,5$  м/с. [29]

За розрахунками приймаємо стандартні штуцери таких розмірів(табл 2.12):

Таблиця 2.12

### Діаметри штуцерів

$D_y$ , мм	$D_y$ , мм
Вхід гріючої пари 100	Вихід розчину 100
Вихід вторинної пари 100	Вихід конденсату 50
Вхід розчину 100	

$$D_{г.п.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,59}{3,14 \cdot 4,20}} = 0,092$$

$$D_{в.п.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 2,730}} = 0,051$$

$$D_{вх.р} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,2}{3,14 \cdot 1140}} = 0,097$$

$$D_{вих.р} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,9}{3,14 \cdot 1165}} = 0,065$$

$$D_{вк} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,59}{3,14 \cdot 926 \cdot 0,5}} = 0,04$$

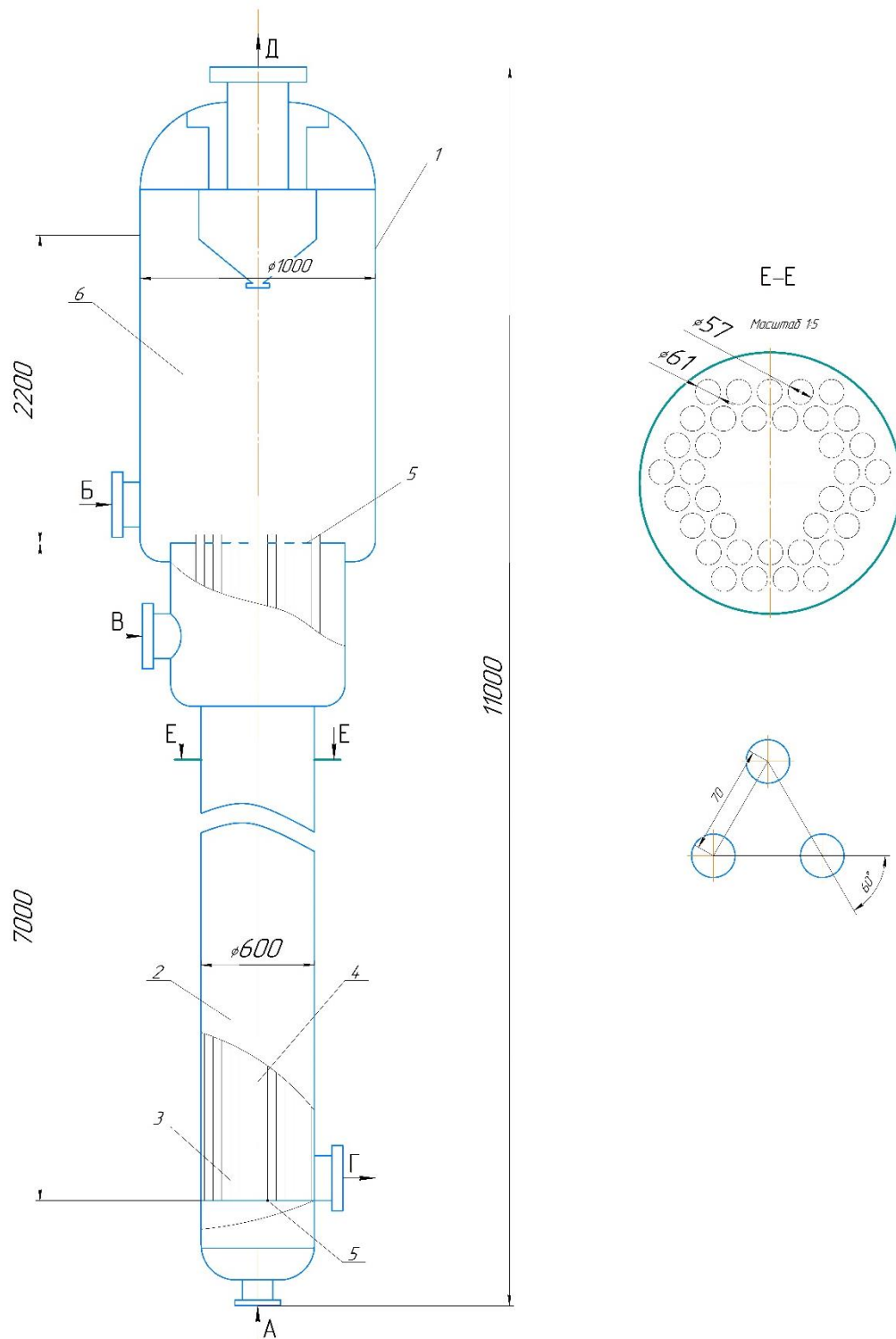


Рис.10.2 Випарний апарат

Висновок: схема виробництва має невеликий відсоток втрат при виробництві, а удосконалення за допомогою заміни випарного апарату на менш габаритний не впливає на його потужність.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Економіка хімічної промисловості вирішує питання технічного прогресу, вибору економічної сировини, джерел енергії, раціонального розміщення хімічних підприємств, підвищення продуктивності труда, виявлення джерел зниження собівартості продукції, економічної ефективності концентрації, спеціалізації і комбінування хімічних виробництв.

Основними показниками, що характеризують економічну ефективність підприємства, є питомі капітальні витрати, собівартість продукції і продуктивність праці. Ці показники тісно взаємопов'язані і залежать від досконалості техніки, технології, організації виробництва.

Будівництво, нових, розширення, реконструкція і технічне переозброєння діючих підприємств вимагають одноразових витрат, які називаються капітальними вкладеннями.[28]

Карбамід користується широким попитом на ринку, тому виробництво є дуже рентабельним.

В табл 3.1 наведено вартість основних засобів на початок року.

Таблиця 3.1

#### Основні засоби

1	2	3
1	Вартість основних засобів на початок року, грн , в тому числі:	
	Будівель і споруд	5742139
	Устаткування	1775332
	Транспортні засоби	40257
	Вартість основних засобів на кінець року, грн , в тому числі:	

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.005.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гриб В.В.</i>			<b>ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Романова О.О.</i>					68	87
<i>Реценз .</i>						НУХТ Каф. ТЖХТ		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

1	2	3
	Будівель і споруд	554121
	Транспортні засоби	454582
	Устаткування	7186
2	Ступінь спрацювання основних засобів на кінець року, %	
3	Амортизація	2,3
4	Обсяг виробленої продукції, грн	1`031`264,41
5	Чисельність персоналу, чол	3000

1) Залишкову вартість основних засобів станом на початок та кінець року

$$ЗВ_{п.р.(\text{Будівель і споруд})} = 5742139 - 554121 = 5111018 \text{ грн.}$$

$$ЗВ_{п.р.(\text{Устаткування})} = 1775332 - 454582 = 1\ 320\ 750 \text{ грн.}$$

$$ЗВ_{п.р.(\text{Авто та меблів})} = 40257 - 7186 = 33341 \text{ грн.}$$

$$ЗВ_{п.р.} = 5111018 + 1320750 + 7186 = 5177700 \text{ грн.}$$

2) Річну суму амортизаційних відрахувань (від залишкової вартості основних засобів на початок року)

$$A = \frac{ЗВ_{п.р.} * N_A}{100} = \frac{5177700 * 2,3}{100} = 119087,1 \text{ грн.}$$

Для виробництва однієї тонни карбаміда за схемою з повним рідинним рециклом необхідно:

- Електроенергія, кВт·год./т 165
- Пара, т/т 1,3
- Охолоджуюча вода, т/т 120

									Арк.
									68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ				

Якщо будувати об'єднане виробництво карбаміду та аміаку, то можна скоротити витрати енергоносіїв. Дані щодо економії енергоносіїв наведені в табл 3.2.

Таблиця 3.2

**Енергетичні і сировинні витрати в процесах виробництва карбаміду і аміаку (з розрахунку на 1 т  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  і 0,580 т  $\text{NH}_3$ )**

Статті витрат	Окремий процес			Об'єднаний процес		
	аміак	карбамід	всього	аміак	карбамід	всього
Природний газ, включаючи сировину, $10^6$ кДж	115	2,89	26,04	24,28	-	24,28
Електроенергія, кВт·год	5	160	165	5	60	65
Охолоджуюча вода, т	116	110	226	67	120	187

За рахунок економії капіталовкладень і зниження енерговитрат очікуване зниження собівартості карбаміду складе 6—7 %.

Висновок: собівартість виробництва не є високою, і основна частина затрат йде на енергоносії. Є можливість зменшити затрати на виробництво за рахунок поєднання з виробництвом аміаку.

## РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Контроль якості продукції проводять згідно ДСТУ 7312:2013.

### 4.1 Випробування які проводять:

- Визначення зовнішнього вигляду
- Визначення масової частки азоту в перерахунку на суху речовину
- Визначення масової частки біурету
- Визначення масової частки вільного аміаку
- Визначення масової частки води
- Визначення гранулометричного складу
- Визначення статичної міцності гранул

### 4.2 Загальні вимоги:

1. Загальні вимоги щодо проведення випробовувань — згідно з ДСТУ ГОСТ 27025.
2. Дозволено застосування інших засобів вимірювальної техніки з метрологічними характеристиками та допоміжного обладнання з не гіршими технічними характеристиками, а також реактивів та матеріалів за якістю не нижчою, ніж вказано в цьому стандарті, які забезпечують одержання результатів вимірювань з похибкою не більшою, ніж передбачено в цьому стандарті.
3. Дозволено застосування інших методів випробовування, які забезпечують необхідну точність та достовірність отриманих результатів. Методики проведення випробовування, які застосовують, має бути атестовано.
4. У разі розбіжності в оцінці якості продукту випробовування проводять методами, зазначеними у цьому стандарті, із

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.071.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гриб В.В.</i>			<b>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Романова О.О.</i>					71	87
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>				<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

застосуванням засобів вимірювальної техніки, обладнання і реактивів, передбачених цими методами.

5. Результат випробовування кожного показника округлюють до останнього знака, зазначеного для нього у таблиці .

### 4.3 Відбір проб:

4.1.Механічний пробовідбірник повинен працювати за принципом повного перетинання потоку по всій його ширині в місцях перепаду потоку, а також забезпечувати відбирання точкових проб через рівні проміжки часу й отримання об'єднаної проби масою не меншою за масу вибірки, встановленої для перевірки якості продукції, що перебуває в русі.

4.2.Від кристалічної сечовини дозволено відбирати проби з будь-якої частини мішка.

4.3.Точкові проби від упакованого продукту, призначеного для роздрібною торгівлі, відбирають совком з двох будь-яких пакетів, узятих з кожної відібраної одиниці пакування в транспортній тарі або тарі-устаткованні. Маса точкової проби має бути не менше ніж 200 г.

4.4.Для сечовини, призначеної для промисловості, тваринництва і роздрібною торгівлі, маса середньої проби має бути не менше ніж 500 г.

4.5.Отриману об'єднану пробу поміщають у чисті сухі скляні банки з притертими проб-ками, чисті сухі поліетиленові банки із загвинченими кришками або пакети з поліетилену та передають для проведення випробовувань.

На банку закріплюють, а в пакет вкладають етикетку з позначенням:

- назви продукту;
- номера партії;
- дати відбирання проби.[20]

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Технічні показники якості карбаміду ДСТУ 7312:2013

Технічні показники якості	Марка А	Марка Б, гатунку		
	І гатунку	вищого	І	ІІ
Зовнішній вигляд	Білі і слабо зафарбовані гранули			
Масова доля:				
азоту в перерахунку на суху речовину, % не менше	46,2	46,2	46,2	46,2
біурету, % не більше	1,4	1,4	1,4	1,4
вологи, % не більше				
метод висушування	0,3	0,3	0,3	0,3
метод фішера	0,6	0,5	0,5	0,6
вільного аміаку, % не менше	0,03	-	-	-
Гранулометричний склад, масова доля гранул розміром, %				
від 1 до 4 мм, не менше		94	94	94
від 2 до 4 мм, не менше		70	50	
менше 1 мм, не більше		3	5	5
Розсипчастість, % не менше		100	100	100
Статична міцність гранул, кгс/гранулу, не менше		0,7	0,5	0,3
Добавка: карбамідо-формальдегідна смола, %	0,2 – 0,5			

Висновок: для того, щоб карбамід відповідав зазначеним характеристикам проводять його аналіз за встановленими методиками в ДСТУ 7312:2013.

## РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Захист довкілля під час виробництва сечовини забезпечують герметизацією технологічного обладнання і комунікацій, механізацією технологічного процесу, справністю електропускової апаратури, безперебійною та ефективною роботою газопиловлоувлювального обладнання і вентиля-ційних систем та дотриманням правил приймання, зберігання, транспортування сировини і готової продукції.

Гранично допустима середньодобова концентрація сечовини в атмосферному повітрі населених місць дорівнює 0,20 мг/м<sup>3</sup>, 4-й клас небезпеки.

Гранично допустима концентрація сечовини у воді водних об'єктів господарсько-питного і культурно-побутового водокористування за показниками БПК повинна бути не більше ніж 1,0 г/м<sup>3</sup>, 4-й клас небезпеки

Гранично допустима концентрація сечовини для води рибогосподарських водоймищ — 80,0 г/м<sup>3</sup>.

Газові викиди, що утворюються у виробництві, надходять в атмосферу через газоочисне обладнання та вентиляційні системи.

Промивні води після промивання обладнання" і комунікацій з концентрацією сечовини не більше ніж 300 г/м<sup>3</sup> має бути відправлено на біологічні очисні споруди.

Встановлення та затвердження гранично допустимих викидів сечовини в атмосферу потрібно здійснювати згідно з ГОСТ 17.2.3.02.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.074.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гриб В.В.</i>			<b>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Романова О.О.</i>					74	87
						<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

Контроль стану якості атмосферного повітря населених пунктів потрібно проводити згідно з ГОСТ 17.2.3.01, ДСП-201.

Охорону поверхневих вод від забруднення та очищення промивних вод треба здійснювати згідно з СанПиН 4630.

Охорону ґрунту від забруднення побутовими і промисловими відходами треба здійснювати згідно з ДСанПІН 2.2.7.029.

У разі розсипання сечовину необхідно локалізувати, не допускаючи попадання її у ґрунт і водоймища.

Продукт треба зібрати в поліетиленові або паперові мішки й відправити за призначенням або для утилізації. Залишки потрібно знешкодити: розчинити у воді й направити на очисні споруди.

У разі аварії на залізничному транспорті потрібно ізолювати небезпечну зону, відвести сторонніх. У небезпечну зону треба входити в захисних засобах, дотримуватися заходів пожежної безпеки. Продукт потрібно зібрати у відповідну тару й відправити для використання або знешкодження.

Розсипи, що утворюються під час використання, зберігання та транспортування сечовини, може бути використано як добриво, відправлено на технологічне перероблення або знешкодження.

Утилізацію і захоронення потрібно проводити відповідно до вимог ДСанПІН 2.2.7.029.

Висновок: слід приділяти увагу утилізації вторинної пари при виробництві сечовини так як це може призвести до збільшення викиду аміаку в атмосферу та стічні води.

					<b>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ VI ОХОРОНА ПРАЦІ

Вимоги з охорони праці до організації робочих місць

1. Робочі місця працівників повинні відповідати ДСТУ 7234:2011, ГОСТ 12.2.032-78 "ССБТ. Місто праці при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги", затверджене постановою Державного комітету стандартів Ради Міністрів СРСР від 26 квітня 1978 року № 1102, ГОСТ 12.2.033-78 "ССБТ. Місто праці при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги", затверджене постановою Державного комітету стандартів Ради Міністрів СРСР від 26 квітня 1978 року № 1100, та ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009 "ССБТ. Виробниче обладнання. Загальні вимоги до безпеки робочих місць", затверджене наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 22 грудня 2008 року № 495 (далі - ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009).

2. Робочі місця необхідно розташовувати поза зоною переміщення механізмів, готового продукту, руху вантажів відповідно до Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 25 січня 2012 року № 67, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 14 лютого 2012 року за № 226/20539 (далі - Загальні вимоги).

3. Робочі місця та проходи працівники повинні утримувати в чистоті і порядку. Загромадження робочої зони та проходів забороняється.

4. Робочі місця з обслуговування устаткування, які знаходяться на висоті 1,3 м і вище від підлоги, необхідно обладнати на стаціонарних площадках із застосуванням огорожень та сходів (драбин).

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.076.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гриб В.В.</i>			<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Романова О.О.</i>					76	87
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>				<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

Вибір засобів доступу до робочих місць відповідно до Загальних вимог необхідно здійснювати з урахуванням частоти проведення робіт, їх тривалості і висоти розміщення робочих місць. Огородження, встановлені в небезпечних зонах.

5. На робочих місцях повинні знаходитись інструкції з ведення технологічних процесів та обслуговування обладнання в обсязі посадових обов'язків, інструкції з питань охорони праці за професіями та видами робіт, інструкції з пожежної безпеки та витяги з ПЛАС.

6. Переміщення працівників у приміщеннях (цехах) дозволяється тільки передбаченими для цього проходами, перехідними містками, драбинами і майданчиками. Перелазити через конвеєри, трубопроводи та інші пристрої забороняється.

7. Пульти керування обладнанням необхідно розміщувати на висоті 1,0-1,6 м над рівнем підлоги робочого місця під час виконання робіт стоячи та на висоті 0,6-1,2 м під час виконання робіт сидячи.

Конструкція пульта керування повинна виключати можливість випадкового вмикання або вимикання устаткування. Кнопки аварійного вимикання повинні виступати над панеллю.

8. Уразі використання обладнання з підвищеним рівнем шуму необхідно застосовувати засоби колективного та індивідуального захисту органів слуху.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту.

9. Рівень вібрації на робочих місцях повинен відповідати нормам, встановленим ДСН 3.3.6.039-99.

Працівники, що виконують роботу в умовах впливу локальної вібрації, повинні бути додатково забезпечені засобами захисту рук. Виробничі цехи необхідно обладнати робочим, аварійним та евакуаційним освітленням.

Приміщення, в яких обладнано постійні робочі місця працівників, повинні мати природне і штучне освітлення (загальне, місцеве або комбіноване) відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

штучне освітлення", затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 15 травня 2006 року № 168.

Аварійне освітлення повинне забезпечувати на робочих місцях у виробничих приміщеннях освітленість не менше 2 лк.

Мінімальна освітленість на підлозі основних проходів та на сходах при евакуаційному освітленні повинна бути не менше 0,5 лк, а на відкритих майданчиках - не менше 0,2 лк.

10. Світильники повинні бути обладнані захисною арматурою та захищені від проникнення в них пилу.

Освітлювальну арматуру і лампи всіх видів освітлення необхідно очищати 2-4 рази на місяць залежно від вмісту пилу в повітрі робочої зони виробничого приміщення.

Контроль освітленості необхідно проводити не рідше 1 разу на рік.

11. Працівників необхідно сповіщати про запуск устаткування після вимушеного зупинення одночасно світловими і звуковими або словесними сигналами.

12. Роботодавець повинен забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту відповідно до ДСТУ 7239:2011 "Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту.

13. Працівників, зайнятих на зварювальних роботах, роботодавець повинен забезпечувати спецодягом із вогнестійким просоченням.

14. Роботодавець повинен забезпечувати працівників, зайнятих на роботах із шкідливими речовинами, протигазами або респіраторами залежно від класу небезпеки речовин, наявних у повітрі робочої зони.

На всі протигазы індивідуального користування, видані працівникам, повинні бути оформлені картки обліку, в які внесено: дати видачі, огляду та чергової перевірки, кому виданий, місце зберігання.

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

На сумці протигаза повинна бути бирка з написами назви підрозділу, прізвища та ініціалів працівника, його табельного номера, марки фільтрувальної коробки або фільтра, розміру шолом-маски. Термін експлуатації фільтрувальних коробок не повинен перевищувати граничних строків.

15. Роботодавець повинен організувати проведення перевірок протигазів на герметичність не рідше одного разу на 3 місяці і періодично направляти до спеціалізованих установ для перевірки та перезарядки в терміни, встановлені інструкціями з експлуатації протигазів.

16. Працівники під час виконання робіт у відділеннях газогенераторів, конверсії та компресії виробництва аміаку повинні мати при собі фільтрувальні протигази.

17. Роботодавець повинен забезпечити працівників, які виконують роботи, пов'язані з можливістю ураження очей пилом аміачної селітри або іншого твердого продукту, захисними окулярами.

18. Для захисту шкіри рук від дії шкідливих речовин працівникам необхідно видавати захисні пасти, мазі.

19. Роботодавець повинен забезпечити працівників, що обслуговують електроустановки, електрозахисними засобами (прилади релейного захисту, фільтри високочастотного захисту, стаціонарні, переносні та знімні екранувальні пристрої і захисні індивідуальні екранувальні комплекти одягу, електровимірювальні штанги та кліщі, ізолювальні штанги, покажчики напруги та інструмент з ізолювальними руків'ями) відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок, затверджених наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 06 жовтня 1997 року № 257, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 13 січня 1998 року за № 11/2451 (далі - НПАОП 40.1-1.01-97).

20. Роботодавець повинен забезпечити працівників, які обслуговують обладнання, що випромінює тепло, спеціальним одягом відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.4.221-2004 "ССБП. Одяг спеціальний для захисту

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

від підвищених температур, теплового випромінення, конвективної теплоти. Загальні технічні вимоги".

### **Вимоги з охорони праці під час виробництва карбаміду та вапняково-аміачної селітри**

1. Технологічні процеси промислового виробництва карбаміду і обладнання, що використовується для його забезпечення, повинні відповідати вимогам безпеки, встановленим Технічним регламентом безпеки обладнання, що працює під тиском, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 19 січня 2011 року № 35.

2. Газоподібний діоксид вуглецю, що подається в колону синтезу, необхідно попередньо очищувати від сірководню, сірки та механічних забруднень.

Вміст горючих домішок у діоксиді вуглецю та рідкому аміаку не повинен перевищувати норм, встановлених нормативними документами та технологічними регламентами.

3. На лінії подавання кисню необхідно встановлювати заглушку для унеможливлення виникнення спалаху і вибуху мастила в циліндрах компресорів під час зупинення відділення компресії.

4. На лініях транспортування діоксиду вуглецю й аміаку до колони синтезу карбаміду необхідно встановлювати по два зворотні клапани: один - безпосередньо перед колоною синтезу, а другий - на виході.

5. Не дозволяється суміщення скидання чистого аміаку із запобіжних пристроїв, вуглекислого газу, газів дистиляції та розчинів амонійних солей для уникнення кристалізації амонійних солей у трубопроводах.

6. До запобіжних клапанів, встановлених на комунікаціях розчинів карбонату амонію і газів дистиляції, необхідно підводити гостру пару і гарячий конденсат для захисту їх від можливої кристалізації продукту.

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

7. Видалення карбонатних пробок необхідно проводити шляхом нагрівання парою або промивання лінії гарячим конденсатом. Демонтаж комунікацій без попереднього відключення їх від системи забороняється.

8. Температура зовнішньої поверхні обладнання, що експлуатується за високих температур (колона синтезу, ректифікаційна колона, підігрівач, грануляційна башта та випарне обладнання), не повинна перевищувати 43-0С відповідно до вимог ДСТУ EN 563-2001.

На технологічній лінії необхідно встановлювати резервуар відповідної місткості для збирання всіх наявних на підприємстві розчинів у періоди, коли підприємство протягом значного часу не працює.

9. Суворо забороняється викид розчинів у каналізацію.

10. Випаровування розчинів карбаміду необхідно проводити в умовах, що виключають можливість утворення біурету.

Вміст вологи в карбаміді після закінчення процесу випарювання перед гранулюванням не повинен перевищувати 2 %.

11. Над грохотом для сортування гранул карбаміду необхідно встановлювати пристрій для відсмоктування пилу, приєднаний до загальної системи вентиляції.

12. У разі спрямовування хвостових газів цеху карбаміду у виробництво аміачної селітри необхідно контролювати кількість, тиск та склад газів, вміст горючих домішок і змащувальних мастил та наявність пилу карбаміду.

13. Карбамід (насипом та розфасований) необхідно зберігати в окремих або відгороджених перегородкою відсіках у закритих, добре провітрюваних складських приміщеннях, що захищають продукт від попадання атмосферних опадів.

Забороняється змішування карбаміду з аміачною селітрою.

14. Сушильне устаткування для виготовлення вапняково-аміачної селітри повинно бути оснащене пристроями очищення відпрацьованого сушильного агента від пилу висушеного продукту і засобами контролю

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ступеня очищення. Способи очищення і періодичність контролю необхідно регламентувати.

Під час експлуатації сушильного устаткування необхідно дотримуватися вимог Правил безпеки систем газопостачання України, затверджених наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 01 жовтня 1997 року № 254, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 15 травня 1998 року за № 318/2758 (НПАОП 0.00-1.20-98).

15. Необхідно забезпечити контроль за відкладенням твердої вапняково-аміачної селітри на внутрішніх поверхнях обладнання, трубопроводів та пристроїв автоматичного зливу з технологічних систем та заходи щодо їх безпечного видалення.

16. Охолодження вапняково-аміачної селітри в обертовому барабані необхідно суміщати з нанесенням на неї вапняної муки, каоліну або кремнезему для зниження здатності до злежування гранульованого продукту.

17. Вапняково-аміачну селітру необхідно зберігати в критих сухих складах і не допускати зволоження продукту.

Допускається зберігати селітру на відкритому майданчику, розфасованою в герметичні поліетиленові мішки.

Висновок: під час виробництва слід дотримуватись технік безпеки так як технологія передбачає роботу з апаратами під високим тиском та температурою, а також з електроприладами і вибухонебезпечними речовинами.

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В даній роботі був проведений підбір літератури стосовно існуючих методів та технологій синтезу карбаміду; ознайомлення з історією винаходження речовини; досліджені вимоги до синтезу речовини та механізм його дії. Розроблена принципово-технологічна схема виробництва речовини, розраховано матеріальний і тепловий баланс, виконаний підбір необхідного обладнання; побудована апаратурно-технологічна схема.

1. Проведено огляд науково технічної літератури з виробництва карбаміду з аміаку та вуглекислого газу. Досліджено існуючі технології отримання. Проаналізовано сфери застосування у таких галузях як: сільське господарство, фармацевтика, харчова промисловість а також використання у таких виробках як лаки, пластмаси. Для подальших досліджень обрано технологію з повним рідинним рециклом.
2. Було удосконалено принципово-технологічну схему виробництва карбаміду з аміаку та вуглекислого газу.
3. Розраховано матеріальний та тепловий баланс виробництва потужністю 90 000 т/рік. Загальні втрати складають 7%.
4. Зроблено підбір обладнання для апаратурно-технологічної схеми. Як удосконалення було обрано випарний апарат з сумісною камерою. Розраховано випарний апарат потужністю 15000 кг/год.
5. Проведено розрахунок економічної ефективності виробництва.
6. Наведені основні методи перевірки та контролю якості продукції. Описані методи відбору проб, технічні показники якості.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.083.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ВИСНОВКИ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Гриб В.В.</i>					83	87
<i>Перевір.</i>		<i>Романова О.О.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>				<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

7. Розглянуто основні аспекти впливу виробництва на екологію та навколишнє середовище. Запропоновано заходи для зменшення впливу шкідливого впливу викидів виробництва на навколишнє середовище.

8. Запропоновано основні заходи з охорони праці на виробництві карбаміду.

В перспективі схему можливо покращити за допомогою більш детального вивчення іншого обладнання та літератури.[22]

					<b>ВИСНОВКИ</b>	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Хімічні технології: [ Навчальний посібник для хіміко-технологічних спеціальностей професійних центрів]/ [Антоніна З., Лариса Г., Сергій Ч., Інга Б.] 2012р. 377с (с. 311)
- 2) Мельников Б.П. Виробництво сечовини./ Б.П. Мельников, І.А. Кудрявцева, 164с. (с. 7-9, 118)
- 3) Хімія в сільському господарстві: навч. посібник/ Е. І. Тупкін. – 2-е вид. вип. і допов. – М: Видавництво Юрайт, 2019. – 184с. (с. 154)
- 4) Загальна хімічна технологія: Підручник/ В.Т. Яворський, Т.В. Перекупко, З.О. Знак, Л.В. Савчук. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. с. 522 (с. 380)
- 5) Загальна хімічна технологія: промислові хіміко-технологічні процеси: навч. посіб./С.В. Іванов, Н.М. Манчук, П.С. Борсук. – К.: Ви-во Нац. авіац. ун-ту «Нау-друк», 2010р. с. 280 (с. 175-177)
- 6) Позін М.Е.: Технологія мінеральних солей[добрив, пестицидів, промислових солей, оксидів і кислот], ч. I, вид. 4-те, випр., В-во «Хімія», 1974р. с.768 (с.1285-1286)
- 7) Annunziata MC, Cacciapuoti S, Cosentino C, Fabbrocini G. Urea-containing topical formulations. Int J Clin Pract. 2020;74:e13660. (с. 1)
- 8) Мельников Е.Я., Салтанова В.П., Наумова А.М.,Блінова Ж.С.[Технологія неорганічних речовин і мінеральних добрив] Підручникдля технікумів. – М.: Хімія 1983 р. с. 442 (с. 188-193)
- 9) В.І. Кучерявий, В.В. Лебедев. Синтез і застосування карбаміду. Ви-во «Хімія», 1970 р., с. 448 (с. 191-197)

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.022.161.085.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гриб В.В.			<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Романова О.О.					85	87
Н. Контр.		Подобій О.В.				<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
Затверд.		Носенко Т.Т.						

- 10) И.В. Дибина, А.С. Совйова, Ю.И. Вишняк. [розрахунки по технології неорганічних речовин]. В-во «Вища школа», Москва, 1976 р. с. 523 (с.119-166)
- 11) Ощепков И.А. Добавка карбамида к сырьевым строительным смесям на клинкерном и гипсовом вяжущих веществах URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dobavka-karbamida-k-syrievym-stroitelny-smesyam-na-klinkernom-i-gipsovom-vyazhuschih-veschestvah/viewer> (дата звернення: 20.05.2022)
- 12) URL: <https://prodobavki.com/dobavki/E927b.html>(дата звернення: 20.05.2022)
- 13) URL: <https://uan.koshachek.com/articles/shho-take-karbamid-shho-take-viznachennja.html>(дата звернення: 20.05.2022)
- 14) URL: <https://uapatents.com/3-70276-zhuvalna-gumka.html>(дата звернення: 20.05.2022)
- 15) URL: <https://dukan-menu.com/supplement/e927b.htm>(дата звернення: 06.05.2022)
- 16) URL: <https://ceramed.ru/articles/mochevina-v-kosmetike-poleznye-svoystva-i-primenenie/>(дата звернення: 22.05.2022)
- 17) URL: <https://www.notino.ru/ingredienty-kosmetiki/mochevina/>(дата звернення: 22.05.2022)
- 18) URL: <http://www.igic.ras.ru/docs/patent/2488619.htm>(дата звернення: 06.05.2022)
- 19) URL: <https://agrarii-razom.com.ua/basic-fertilizers/karbamid-sechovina>(дата звернення: 23.05.2022)
- 20) ДСТУ 7312:2013. Сечовина (карбамід). Технічні умови (61777)
- 21) Article: /Urea plus ceramides and vitamins: improving the efficacy of a topical urea preparation by addition of ceramides and vitamins./Der Hautarzt/ October 2008 PubMed 59(9):717-8, 720-3. URL: [https://www.researchgate.net/publication/23148726\\_Urea\\_plus\\_ceramides\\_and\\_vitamins\\_improving\\_the\\_efficacy\\_of\\_a\\_topical\\_urea\\_preparation\\_by\\_addition\\_of\\_ceramides\\_and\\_vitamins](https://www.researchgate.net/publication/23148726_Urea_plus_ceramides_and_vitamins_improving_the_efficacy_of_a_topical_urea_preparation_by_addition_of_ceramides_and_vitamins)(дата звернення: 23.05.2022)

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

- 22) Про затвердження Правил охорони праці на об'єктах з виробництва неорганічних азотних сполук та мінеральних добрив Наказ МНС України 12.12.2012 № 1414 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0059-13#Text>(дата звернення: 23.05.2022)
- 23) Аврамова Н.С., Мінікс М.В., Міневич М.В. [Довідник азотника. Том II.]В-во «Хімія», 1969р. с.448 (с. 231-232)
- 24) Насос для кислоти хімічний РА-6900: Веб сайт URL: <https://pumpcentre.com.ua/nasos-dlya-kisloty-himicheskij-pa-6900-4kvt/>(дата звернення: 23.05.2022)
- 25) Насос 2Х-4Е: Веб сайт URL: <https://nasos-2005.com/p592349372-nasos-katajskij-nasosnyj.html> (дата звернення: 23.05.2022)
- 26) Вакуумний насос: Веб сайт URL: [https://prom-nasos.com.ua/catalog/pumps-by-type/vacuum\\_pumps/liquid-ring-pumps/vakuumniy-nasos-2bv5121/](https://prom-nasos.com.ua/catalog/pumps-by-type/vacuum_pumps/liquid-ring-pumps/vakuumniy-nasos-2bv5121/)(дата звернення: 23.05.2022)
- 27) Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива : навчальний посібник / М. Д. Волошин, Я. М. Черненко, А. В. Іванченко, М. А. Олійник. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. — 354 с (с.74, 87)
- 28) Конспект лекцій з дисципліни "Вступ до технології неорганічних речовин" для здобувачів вищої освіти спеціальності 161 „Хімічні технології та інженерія” Укл.: Волошин М. Д. Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 87 с. (с 71.)
- 29) Процеси та апарати хімічної технології: навч. посібник з курсового проектування / А.І. Дубинін, Р.І. Гаврилів, І.О. Гузьова; за ред. А.І. Дубиніна. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 360 с. (99-119)

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86