

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

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

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ О.В. Кочубей-Литвиненко
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2020 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Т.Т.Носенко
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2020 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 одержання фосфорної кислоти Е338

Виконав: здобувач _____ 4 _____ курсу, групи _____ 15 _____
_____ Рихальська Єлизавета -
Ірина Вячеславівна
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Фесич Ігор Володимирович _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Консультанти Житнецький І.В. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) _____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____ Іщенко В.М. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2020 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Носенко Т.Т.

“05” травня 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) ЗДОБУВАЧА

Рихальської Єлизавети – Ірини Вячеславівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології одержання фосфорної кислоти E338

керівник роботи **Фесич Ігор Володимирович, к.х.н., доцент**,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “16”березня 2020 р.№ 231 КС

2. Строк подання здобувачем роботи 02 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи отримання фосфорної кислоти термічним методом з потужністю 3000 кг/год

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

Вступ; Розділ I. Аналітичний огляд науково-технічної літератури; Розділ II.

Технологічна частина; Розділ III. Техніко-економічне обґрунтування; Розділ IV.

Організація контролю якості продукції; Розділ V. Екологічна частина та охорона праці; Висновки; Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В. к.т.н., доцент кафедри МАХтаФВ	06.05.2020р.	01.06.2020р.

7. Дата видачі завдання 05.05.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	05.05.2020р.	
2	Аналітичний огляд науково-технічної літератури	06.05-11.05.2020р.	
3	Технологічна частина. Розрахунок матеріального балансу отримання термічної фосфорної кислоти.	12.05-25.05.2020р.	
4	Техніко-економічне обґрунтування	26.05-27.05.2020р.	
5	Організація контролю якості продукції	28.05.2020р.	
6	Екологічна частина та охорона праці	29.05.2020р.	
7	Висновки	01.06.2020р.	
8	Список використаної літератури. Реферат	15.05-25.05.2020р.	
9	Графічна частина проекту. Принципова технологічна схема	12.05-19.05.2020р.	
10	Графічна частина проекту. Апаратурно-технологічна схема	20.05-27.05.2020р.	
11	Графічна частина проекту. Креслення апарату (загальний вигляд)	28.05-01.06.2020р.	
12	Передзахист, перевірка на академплагіат, рецензування ДП	03.06.2020р.-10.06.2020р.	

Здобувач

(підпис)

Рихальська Є.-І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Фесич І.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ЗАПИСКА ПОЯСНЮВАЛЬНА: 78 С., 6 РИС., 13 ТАБЛ., 23 ЛІТ. ДЖЕРЕЛ.

У дипломному проекті проведено розробку удосконалення технології одержання фосфорної кислоти E338, потужністю 3000 кг/год.

У дипломному проекті представлено п'ять розділів. Перший розділ – аналітичний огляд науково-технічної літератури включає в себе загальні відомості про властивості фосфорної кислоти, сфери застосування, її використання у харчовій промисловості, сільському господарстві для отримання складних добрив.

В другому розділі описана технологічна частина – принципова технологічна і апаратурно - технологічна схеми виробництва термічної фосфорної кислоти, розрахунки процесу спалювання, підбір і розрахунок основного обладнання – башти спалювання для виробництва фосфорної кислоти.

В третьому розділі наведено техніко–економічне обґрунтування виробництва термічної фосфорної кислоти та досліджено прибутковість даного виробництва.

В четвертому розділі представлено методи контролю якості продукції.

В п'ятому розділі розроблені заходи з охорони праці виробництва та охорони навколишнього середовища. Розроблена технологія повністю відповідає вимогам охорони праці та забезпечує працівників належними умовами.

Об'єктом дослідження є фосфорна кислота (харчова добавка E338).

На меті роботи поставлено удосконалення технології виробництва термічної фосфорної кислоти, шляхом одержання харчової добавки із фосфору.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ФОСФОРНА КИСЛОТА, СПАЛЮВАННЯ, ПРИНЦИПОВА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, БАШТА СПАЛЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ABSTRACT

EXPLANATORY NOTE: 78 PAGES, 6 DRAWINGS, 13 TABLES, 23 SOURCES.

In the diploma project the development of improvement of the technology of obtaining phosphoric acid E338, with a capacity of 3000 kg / h was carried out.

There are five sections in the diploma project. The first section - an analytical review of scientific and technical literature includes general information about the properties of phosphoric acid, its scope, its use in the food industry, agriculture for complex fertilizers.

The second section describes the technological part - the basic technological and hardware - technological schemes for the production of thermal phosphoric acid, calculations of the combustion process, selection and calculation of the main equipment - combustion towers for the production of phosphoric acid.

The third section presents the feasibility study for the production of thermal phosphoric acid and investigates the profitability of this production.

The fourth section presents methods of product quality control.

The fifth section develops measures for occupational safety and environmental protection. The developed technology fully meets the requirements of labor protection and provides workers with appropriate conditions.

The object of the reserh is phosphoric acid (food additive E338).

The aim of the work is to improve the technology of production of thermal phosphoric acid by obtaining a food additive from phosphorus.

KEY WORDS: PHOSPHORIC ACID, COMBUSTION, PRINCIPLE TECHNOLOGICAL SCHEME, HARDWARE-TECHNOLOGICAL SCHEME, MATERIAL BALANCE, HEAT BALANCE, COMBUSTION TOWER, QUALITY CONTROL ,OCCUPATIONAL HEALTH

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1 Загальні відомості, історія та стан виробництва ортофосфорної кислоти ...	9
1.2 Використання фосфорної кислоти в сільському господарстві та промисловості	12
1.3 Фосфорна кислота як харчова добавка Е338	13
1.4 Способи одержання ортофосфорної кислоти	14
1.5 Екстракційний спосіб одержання фосфатної кислоти	16
1.6 Термічний спосіб одержання фосфатної кислоти	18
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	22
2.1. Характеристика сировини і готового продукту	22
2.2. Принципова технологічна схема виробництва фосфорної кислоти	27
2.3. Розрахунок процесу отримання фосфорної кислоти	31
2.4. Підбір основного обладнання	45
2.5. Апаратурно–технологічна схема виробництва фосфорної кислоти	50
2.6. Розрахунок основного обладнання	53
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	58
3.1. Розрахунок калькуляційних статей	58
3.2. Визначення ціни продукції	62
3.3. Розрахунок показників рентабельності	62
РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	64

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Рихальська Є.-І.В.				<i>ЗМІСТ</i>			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Фесич І.В.								5	79
Реценз.		Іщенко В.М.							<i>НУХТ. Кафедра ТЖХТ</i>		
Н. Контр.		Подобій О.В.									
Затверд.		Носенко Т.Т.									

РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	72
5.1. Екологічність проекту	72
5.2. Техніка безпеки і охорона праці	73
5.3 Вимоги безпеки до організації робочих місць	73
5.4. Вимоги безпеки під час виробництва термічної фосфорної кислоти	74
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

Графічний матеріал:

- Принципова технологічна схема виробництва фосфорної кислоти;
- Апаратурно-технологічна схема виробництва фосфорної кислоти.
- Креслення башти спалювання.

					ЗМІСТ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Фосфорна кислота виробляється двома способами: екстракційним і термічним. Розвиток термічного способу тісно пов'язано з розвитком фосфорної промисловості.

Екстракційна і термічна фосфорні кислоти суттєво різняться за якістю. Отримана екстракційним способом кислота містить до 15% домішок, а термічна - всього до 0,4% домішок.

Якість екстракційної кислоти залежить від складу вихідної сировини, тому що в неї частково переходять домішки фосфатних руд, які утворюють з сірчаною кислотою з'єднання, розчинні у фосфорній кислоті.

Термічний спосіб дає можливість отримувати з будь-якого виду сировини висококонцентровану кислоту, яка містить 62-69% P_2O_5 (85-95% H_3PO_4) при незначній кількості домішок.

Фосфорна кислота споживається безпосередньо і у вигляді різноманітних солей, які широко застосовуються в сільському господарстві (добрива, кормові засоби), в промисловості та інших галузях техніки, комунальному господарстві та в побуті (технічні солі).

За масштабами споживання фосфорної кислоти (екстракційної і термічної сумарно) перше місце займає туків промисловість, друге - сольові виробництва. Важливою сферою її застосування є також виготовлення кормових та харчових фосфатів і харчової фосфорної кислоти. На добрива переробляється головним чином екстракційна фосфорна кислота. У виробництві технічних солей споживається переважно термічна фосфорна кислота. Наприклад, виробництво фосфатів натрію, які широко використовуються для пом'якшення води, отримання синтетичних миючих засобів та інших цілей.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ВСТУП</i>		
Розроб.	Рихальська Є.-І.В.						
Перевір.	Фесич І.В.						
Реценз.	Іщенко В.М.						
Н. Контр.	Подобій О.В.						
Затверд.	Носенко Т.Т.						
					Літ.	Арк.	Аркуші
						7	79
					НУХТ. Кафедра ТЖХТ		

Безпосередньо фосфорна кислота застосовується, наприклад, як каталізатор процесів дегідрування, полімеризації і алкілювання вуглеводнів. Харчова фосфорна кислота використовується у виробництві безалкогольних напоїв [1].

У даній роботі буде розглянуто термічний метод отримання фосфорної кислоти. Він заснований на хімічних реакціях окислення елементарного фосфору і гідратації фосфорного ангідриду, що супроводжуються фізичними процесами тепло- і масообміну [2].

Мета роботи – полягає в удосконаленні технології виробництва харчової добавки E338.

Об'єкт дослідження – фосфорна кислота (харчова добавка E338).

Предмет дослідження – технологія виробництва термічної фосфорної кислоти.

Завдання на виконання роботи:

- на основі аналізу науково–технічної літератури вивчити властивості та сфери застосування фосфорної кислоти, ознайомитися з областями застосування в різних галузях промисловості;
- вивчити сучасний стан існуючих технологій для її виробництва;
- удосконалити принципову та апаратурно–технологічну схеми виробництва термічної фосфорної кислоти;
- розрахувати матеріальний баланс її виробництва;
- здійснити підбір обладнання для виробництва термічної фосфорної кислоти;
- виконати розрахунок основного обладнання – башти спалювання;
- визначити техніко–економічні показники підприємства з виробництва харчової добавки – E338;
- ознайомитися з контролем якості сировини;
- дослідити екологічність проекту виробництва фосфорної кислоти;
- вивчити охорону праці виробництва харчової добавки E338.

					ВСТУП	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Загальні відомості, історія та стан виробництва ортофосфорної кислоти

Ортофосфатна кислота — неорганічна сполука, кислота складу H_3PO_4 , яка утворює ряд солей ортофосфатів (фосфатів). За кімнатної температури є білою кристалічною речовиною, а при нагріванні до $42,35\text{ }^{\circ}C$ перетворюється на безбарвну в'язку рідину. [3]

Фосфорну кислоту відкрив Р. Бойль за допомогою індикаторів. Спалюючи фосфор і розчиняючи утворився білий продукт у воді, він отримав невідому хімікам кислоту. За вихідним речовини він назвав її фосфорною.

Технічно фосфорну кислоту вперше отримали понад 100 років тому розкладом низькоякісних фосфоритів, що містять значну кількість з'єднань тривалентних металів, розведеної (5-10%) сірчаної кислоти, в якій з'єднання заліза і особливо алюмінію переходять в розчин в незначній мірі.

Розчин з концентрацією 8-10% P_2O_5 упарювали до вмісту в ньому приблизно 40% P_2O_5 . При розкладанні фосфатної породи більш концентрованою (30-40%) сірчаної кислотою виділяються голчасті кристали гіпсу. Вони утримували значну кількість рідкої фази і погано промиваються. Внаслідок цього втрати P_2O_5 великі.

Істотним кроком вперед у виробництві фосфорної кислоти був перехід до установок безперервної дії і розведення 75 і 93% -ної сірчаної кислоти не водою або слабкими промивальним водами, а розчином фосфорної кислоти, тобто проведення процесу із застосуванням розчину розведення. У цих умовах виділяються ромбічні кристали, які добре фільтруються і відмиваються.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Рихальська І.В.			<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</i>			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Фесич І.В.								9	79
Реценз.		Іщенко В.М.						<i>НУХТ. Кафедра ТЖХТ</i>			
Н. Контр.		Подобій О.В.									
Затверд.		Носенко Т.Т.									

Фосфорна кислота існує двох видів - харчовий сорт (85%) і промисловий сорт (75%). Ортофосфорну кислоту харчового сорту часто використовують у харчових добавках (Е338), а промислового сорту як флюс при пайці (по чорному металі, по нержавіючій сталі, по окисленій міді), в молекулярній біології - для досліджень. Основні споживачі ортофосфornoї кислоти - це виробництво фосфорних і комбінованих добрив для ґрунту. За допомогою таких фосфорних добрив рослини набувають велику зимостійкість і стійкість до різних природних умов, швидко дозрівають.

Ортофосфорна кислота сприятливо діє на ґрунт, сприяє його структуруванню, допомагає в розвитку ґрунтових бактерій, змінює розчинність деяких речовин ґрунту і пригнічує деякі шкідливі органічні речовини. Також цікавими є і дещо інші застосування в промисловості ортофосфornoї кислоти. Наприклад, якщо просочити деревину ортофосфornoю кислотою, то дерево стає негорючим. Ця властивість дає можливість виробляти негорючий фосфатний пінопласт, негорючі плити, вогнезахисні фарби, а також інші будівельні матеріали.

Ортофосфорна кислота також застосовується для зняття зубної емалі перед пломбуванням зубів. При нанесенні ортофосфornoї кислоти складно проконтролювати ступінь і глибину демінералізації дентину і емалі. Це призводить до того, що нанесений адгезив не повністю (по всій глибині) заповнює відкриті дентинні каналці, а це в свою чергу не забезпечує утворення повноцінного гібридного шару.

Фізичні властивості: при нормальних умовах ортофосфатна кислота являє собою безбарвну й розпливчасту на повітрі кристалічну сполуку із температурою плавлення +42 °С (65%-й розчин кислоти замерзає тільки при -85 °С). У твердому стані й у розчині молекули ортофосфатної кислоти асоційовані за рахунок водневих зв'язків, і тому концентровані розчини мають високу в'язкість. Фосфатна кислота добре розчиняється у воді (до 80% за масою). Її водні

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розчини — гарні електроліти (найвища електропровідність спостерігається тоді, коли концентрація кислоти становить 48%).

На відміну від багатьох сполук Фосфору, фосфатна кислота не отруйна.

Густина — 1,87 г/см³. Температура плавлення 42,35 °С. У воді розчиняється дуже добре і у водному розчині є кислотою середньої сили.

Хімічні властивості:

При нагріванні до 150 °С відбувається міжмолекулярна дегідратація з утворенням пірофосфатної кислоти:

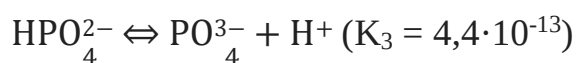
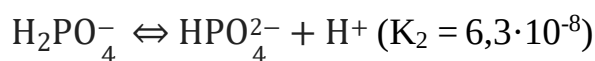
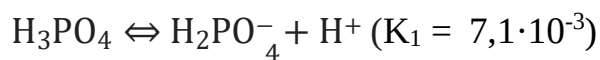


Подальшим нагріванням утворюється трифосфатна кислота $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$.

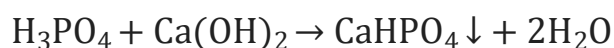
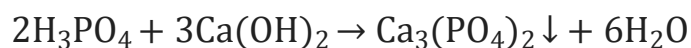
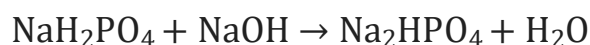
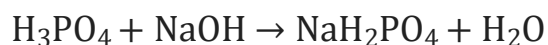
Збільшення температури при нагріванні у вакуумі призводить до утворення метафосфатної кислоти:



У водному розчині ортофосфатна кислота дисоціює ступінчасто:

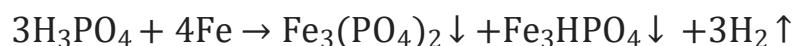


Проявляючи кислотні властивості, ортофосфатна кислота реагує з гідроксидами (ступінчасто):

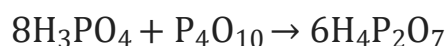


					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

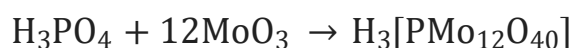
Взаємодіє з активними металами із виділенням водню:



При взаємодії з оксидом фосфору(V), сполука концентрується із утворенням пірофосфатної кислоти:



Концентрована ортофосфатна кислота в присутності концентрованої HNO_3 здатна утворювати з металами гетерополісполуки, наприклад, фосфоромолібдатну кислоту:



1.2 Використання фосфорної кислоти в сільському господарстві та промисловості

Фосфатну кислоту застосовують в основному (близько 85% виробленої) для одержання фосфорних і складних добрив, кормових фосфатів, синтетичних миючих і водопом'якшувальних засобів. У металообробній промисловості фосфатну кислоту застосовують в процесі фосфатування поверхні металів, а в текстильній -- для оброблення та фарбування вовни, натуральних і синтетичних волокон. У технології органічних речовин її використовують як каталізатор. Фосфатну кислоту і її похідні застосовують у процесі готування бурових суспензій при нафтовидобутку, у виробництві скла, у фотографії (для готування світлочутливих емульсій), у медицині (виготовлення медикаментів, одержання лікарських засобів, зубних цементів), у процесі оброблення деревини (для додання вогнестійкості). Похідні фосфатної кислоти застосовують також у харчовій промисловості (хлібопекарські порошки, виробництві плавлених сирів, у ковбасному виробництві й цукроварінні) [4]. Розведену фосфорну кислоту використовують у харчових продуктах як підкислювач, коригент смаку, синергетичний антиоксидант (0,001–0,005%) і хелатуючий агент.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.3 Фосфорна кислота як харчова добавка E338

E338 (ортофосфорна кислота) належить до групи антиоксидантів - добавок, що захищають продукти харчування від окислення і зміни кольору, діє як регулятор кислотності, а саме в безалкогольному ароматизованому напої (УНТ пастеризовані, стерилізовані та порошкоподібні), деякі види сиру та фруктів або кристалізовані фрукти. Так само використовується в десертах і порошкових сумішах для десертів, начинок, хлібобулочна продукція, цукрова пудра, камедь, борошно, рідке яйце, соуси, супи та бульйони, спиртні напої (вино та пиво), крупи, крабові палички, рибні пасти та молюски, заморожені рибні філе, заморожені ракоподібні, м'ясні продукти, картопляні вироби, зневоднена їжа, деякі види макаронних виробів, спортивні напої і деякі продукти для немовлят та дітей[5].

Швидке харчування та їжа швидкого приготування основні фактори, що сприяють зростанню споживання фосфатів у раціоні. Через збільшення вживання харчових добавок розрахункове добове споживання фосфатовмісних харчових добавок зросло більш ніж удвічі з 1990-х років, з трохи менше 500 мг / добу до 1000 мг / добу [6]. Висновки іншого недавнього дослідження були в тому ж порядку: у переробленому м'ясі та продуктах птиці вміст фосфатів був майже вдвічі більшим, ніж у натуральному продукті через доданий фосфат [7]. Таким чином, не тільки пацієнтів з порушенням функції нирок потрібно переводити на дієту з низьким вмістом фосфатів; пацієнти з серцево-судинними захворюваннями також повинні споживати менше фосфатів, і, в цілому, населення також повинно.

Ортофосфорна кислота застосовується для підкислення продуктів харчування і напоїв. Вона забезпечує гострий або кислий смак. Від природних підкислювачів, наприклад, лимонної кислоти, її відрізняють низька вартість і легкість отримання.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фосфатні добавки відіграють особливо важливу роль у м'ясній промисловості, де їх використовують як консерванти. Вони також використовуються як компонент плавлення солей при виробництві м'якого сиру. Фосфати послаблюють структуру білка, дозволяючи йому зв'язувати більше води. Фосфатні добавки також знаходяться у великих кількостях у ароматизованих безалкогольних напоях та у стерилізованому, ультра термічній обробці, загущеному молоці та сухому молоці. Подальше використання фосфатів полягає у запобіганні агломерації харчових порошків, таких як кава в порошку і пудинг. Напої Кола та ароматизовані безалкогольні напої часто містять велику кількість фосфорної кислоти (Е 338) як підкислювача. Такі засоби даються для зниження рН їжі і тим самим пригнічують ріст дріжджів, грибів та бактерій.

Хоча ортофосфорна кислота як харчова добавка дозволена до застосування в більшості країн, в результаті багатьох досліджень було встановлено її шкідливий вплив на організм. Так, вона порушує кислотно-лужний баланс, збільшуючи його кислотність. Це може провокувати розвиток різних захворювань, наприклад, карієсу і остеопорозу.

Фосфорна кислота (Е 338) є харчовою добавкою, дозволеною для кількох технологічних цілей, у великій кількості харчових продуктів. Ця добавка була оцінена Науковим комітетом з продовольства (SCF) у 1991 році, коли максимум дозволене щоденне споживання 70 мг / кг, раніше запропоноване Спільним експертом ФАО / ВООЗ Комітет з харчових добавок (JECFA) та виражений у вигляді фосфору був схвалений. Як фосфорна кислота (Е 338) в якості харчової добавки вже були дозволені в Європейському Союзі до 20 січня 2009 року, вони включені до складу програми переоцінки харчових добавок, створена відповідно до Регламенту (ЄС) № 257/2010 та EFSA має завершити оцінку цієї групи харчових добавок з високим пріоритетом до 31 Грудня 2018[8].

1.4 Способи одержання ортофосфорної кислоти

П'ятиоксид фосфору утворить кислоти метафосфорну HPO_3 , пірофосфорну $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, ортофосфорну H_3PO_4 .

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фосфорну кислоту отримують двома способами: 1) витісненням її з природних фосфатів більш сильними кислотами (метод екстракції) і 2) відновленням природних фосфатів до елементарного фосфору з подальшим спаленням фосфору і гідратацією п'ятиоксиду фосфору, що утворюється (термічний метод).

Розкладання природних фосфатів з метою отримання екстракційної кислоти здійснюється сірчаною кислотою. Апатитовий концентрат містить 39,4% P_2O_5 . Екстракційна кислота має до 15% домішок і використовується для 50 виробництва мінеральних добрив і кормових фосфатів. За масштабами виробництва вона поступається сірчаній і азотній кислотам. Не випарена фосфорна кислота, отримана дигідратним і полугідратним методами, містить від 24 до 48% P_2O_5 ; 0,2-2,8% SO_2 ; 0,8-1,2 R_2O_7 (Al, Fe) і 0,5-1,8% F. У випареній кислоті P_2O_5 - 53-57%, R_2O_3 біля 2%, SO_3 4,5% і F 0,35%.

З високо концентрованих розчинів фосфорна кислота кристалізується у вигляді гідрату $2H_3PO_4 \cdot H_2O$, який плавиться при температурі 29,3 0C . Температура кипіння водних розчинів фосфornoї кислоти зростає при концентраціях вище за 70% H_3PO_4 , наприклад 75% H_3PO_4 кипить при 125°C (408°K), а 100% H_3PO_4 - при 262°C. При низьких температурах фосфорна кислота не випаровується. Розбавлення фосфornoї кислоти супроводиться виділенням тепла.

На відміну від інших кислот фосфорна кислота при випаровуванні дегідратується зі створенням пірофосфornoї, а при більш високих температурах і метафосфornoї кислот



У цей час відомо більш десяти фосфорних кислот, які відрізняються числом атомів фосфору в молекулі і будовою. З цих кислот в промисловому масштабі випускаються піро- і метафосфорна. Їх солі, наприклад пірофосфат

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

натрію $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$, триполифосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ і гексаметафосфат натрію $(\text{NaPO}_3)_n$ виготовляються у великих кількостях[9].

1.5 Екстракційний спосіб одержання фосфатної кислоти

Кислотний метод ґрунтований на витісненні сильними кислотами фосфорної кислоти з фосфатів. Найбільше поширення на практиці знайшов метод сульфатнокислої екстракції основні стадії виробництва екстракційної фосфорної кислоти (ЕФК)

Виробництво екстракційної фосфорної кислоти (ЕФК) є одним з найбільш великотоннажних серед виробництв основної хімічної промисловості.

Залежно від температури процесу і концентрації P_2O_5 в розчині сульфат кальцію (фосфогіпс) виділяється у вигляді $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (дегідратний режим), $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ (режим напівгідрату) і CaSO_4 (ангідридовий режим).

Основна частка виробленої фосфорної кислоти припадає на дегідратний метод, що дозволяє отримувати, в залежності від якості перероблюваної сировини, кислоту з вмістом 22-32% P_2O_5 . Дегідратний спосіб відрізняється порівняно м'яким температурно-концентраційним технологічним режимом, простий і дає вихід P_2O_5 в продукційну кислоту. У той же час відносно низька концентрація одержуваної кислоти вимагає подальшої її упарювання до вмісту P_2O_5 близько 40-50%.

Дегідратний метод належить до найбільш розроблених в промисловій практиці. Його вдосконалення йде в основному по шляху прийняття нових апаратурних рішень, спрямованих на інтенсифікацію процесу, оптимізацію і стабілізацію температурного режиму. Прагнення отримувати більш концентровану ЕФК вже в технологічному циклі її виробництва, тобто без спеціального упарювання, виразилося в розробці та промисловій реалізації напівгідратного процесу. Прямий напівгідратний процес у традиційному варіанті характеризується технічними складнощами, пов'язаними з підвищеною

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температурою, виділенням фтористих газів, а також більш низьким виходом P_2O_5 в кислоту, ніж у дигідратному методі. Ця обставина, що впливає на високу інтенсивність процесу і порівняно низькі капітальні вкладення, дещо загальмувала поширення напівгідратного методу. На практиці напівгідратним методом отримують кислоту з вмістом P_2O_5 від 36 до 45%.

Напівгідратний процес більш чутливий до відхилень технологічного режиму, тому що здійснюється в більш вузьких, ніж дигідратний процес, інтервалах температури і концентрацій P_2O_5 , CaO , SO_3 в рідкій фазі. Тому дуже важливою умовою стабільної та ефективної роботи напівгідратних систем є оснащення їх надійною системою контролю і автоматичного регулювання, застосування АСУТП.

Обидва процеси протікають з виділенням твердих фаз - дигідрату і напівгідрату сульфату кальцію в метастабільних станах, але різко відрізняються за своєю розчинністю, стійкістю, розмірами і формою кристалів.

Температурні умови процесу залежать від концентрації одержуваної кислоти. При концентрації кислоти від 35 до 50% P_2O_5 верхній діапазон температур змінюється від 10 до 90°C. Нижній діапазон, починаючи з 70°C, не представляє практичного інтересу, особливо при утриманні в кислоті більше 37-40% P_2O_5 внаслідок малої швидкості реакції і труднощів, пов'язаних з відділенням осаду від кислоти великої в'язкості.

При низькій розчинності і повільному розчиненні напівгідрату останній довго дегідратується і при 115-125°C в концентрованій фосфорній кислоті.

Швидкість гідратації напівгідрату в значній мірі залежить і від умов його отримання. Чим вищою є концентрація фосфорної кислоти, в якій відбувалося виділення напівгідрату, тим повільніше відбувається його оводнення у розведених розчинах[10].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

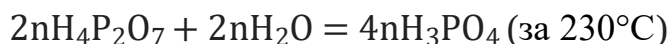
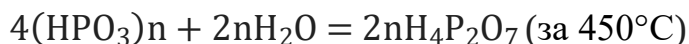
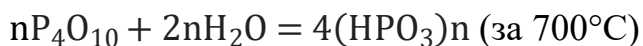
Початкову екстракційну фосфатну кислоту, на відміну від термічної, без проведення очищення використовують тільки для виробництва обмеженого ряду продуктів (виробництва мінеральних добрив, технічних солей).

Основними перевагами екстракційного процесу є його простота і можливість виробництва дешевшої H_3PO_4 . Недолік - отримувана екстракційна фосфатна кислота забруднена домішкою полуторних оксидів (Al_2O_3 , Fe_2O_3), з'єднаннями фтору і CaSO_4 [11].

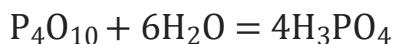
1.6 Термічний спосіб одержання фосфатної кислоти

Термічний спосіб одержання фосфатної кислоти ґрунтується на окисненні елементного фосфору в надлишку повітря з наступною гідратацією й абсорбцією P_4O_{10} , що утворюється, конденсацією фосфатної кислоти й уловлюванням туману з газової фази.

Одержують P_4O_{10} окисненням елементного фосфору у вигляді крапель або плівки. Ступінь окиснення Фосфору в промислових умовах визначається температурою в зоні окиснення, дифузією компонентів та інших чинників. Другу стадію одержання термічної фосфатної кислоти – гідратацію декаоксиду тетрафосфору – здійснюють абсорбцією кислотою (водою) або взаємодією пари P_4O_{10} з водяною парою. Гідратація P_4O_{10} відбувається послідовно до мета-, ди- і ортофосфорної кислоти:



Сумарне рівняння процесу гідратації



					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Кількість теплоти, що виділяється в процесі спалювання 1 кг елементного фосфору, становить 23614 кДж, а в процесі гідратації -- 3035 кДж. У процесі розведення фосфатної кислоти водою до концентрації продукційної (товарної) кислоти виділяється додаткова кількість теплоти.

Термічну фосфатну кислоту можна одержувати двома способами: одноступінчастим і двоступінчастим. Перший спосіб заснований на спалюванні фосфоровмісного газу, який відходить з печі (без попередньої конденсації пари фосфору), з гідратацією утвореного P_4O_{10} . Спосіб не застосовують через низьку концентрацію парів фосфору в пічному газі, що потребує громіздкого устаткування для його перероблення, а домішки, які містить газ, забруднюють одержувану фосфатну кислоту.

Термічну фосфатну кислоту виробляють двостадійним способом. При цьому конденсують з газу фосфорної печі фосфор, а потім переробляють його у фосфатну кислоту.

У процесах окиснення Фосфору і гідратації P_4O_{10} виділяється значна кількість теплоти. Залежно від принципу охолодження газів існують три способи виробництва термічної фосфорної кислоти: випарний, циркуляційно-випарний, теплообмінно-випарний. Випарні системи, засновані на відведенні теплоти при випаровуванні води або розведеної фосфатної кислоти, найпростіший в апаратурному оформленні. Однак, через відносно великий об'єм відхідних газів вважається, що використання таких систем доцільне лише в установках невеликої одиничної потужності.

Циркуляційно-випарні системи дають змогу сполучити в одному апараті стадії спалювання елементного фосфору, охолодження газової фази циркулюючою кислотою і гідратації P_4O_{10} . Розглянуті системи поєднують два способи відведення теплоти: через стінку башт спалювання й охолодження, а також випаровуванням води з газової фази. Істотною перевагою системи є відсутність контурів циркуляції кислоти з насосно-холодильним устаткуванням.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сьогодні на заводах експлуатують технологічні схеми з циркуляційно-випарним способом охолодження (двобаштова система), що відрізняються наявністю додаткової башти для охолодження газу[12].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до 1 розділу

Узагальнюючи огляд науково-технічної літератури, проаналізовано властивості ортофосфорної кислоти, її значення, її застосування в сільському господарстві, харчовій промисловості та в промисловому виробництві.

Встановлено, що найбільш широко фосфорна кислота застосовується в сільському господарстві. За своєю природою це мінеральне добриво і випускається в гранульованому вигляді. Містить велику кількість фосфору (46,2 %), що і визначає економічну доцільність його використання в якості добрива.

Варто зауважити, що важливе по значенню застосування це харчова промисловість. У виробництві харчових продуктів фосфорна кислота може використовуватися як регулятор кислотності, як харчова добавка E338 характеризується антиоксидантними властивостями.

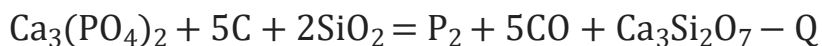
Сировиною для промислового виробництва фосфорної кислоти використовують фосфор та воду.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Характеристика сировини і готового продукту

Вихідною сировиною для одержання термічної ортофосфорної кислоти є жовтий фосфор.



$T=1000-1200^\circ\text{C}$.

Жовтий фосфор — безбарвна воскоподібна речовина з жовтуватим відтінком. Утворюється при швидкому охолодженні пари фосфору. Його густина $1,82 \text{ г/см}^3$. Температура плавлення $44,1^\circ\text{C}$, температура кипіння 280°C . У воді практично не розчиняється, але добре розчиняється в сірковуглеці CS_2 .

Жовтий фосфор надзвичайно отруйний — на шкірі залишає хворобливі опіки. Доза його в $0,1 \text{ г}$ — смертельна для людини. Працювати з ним слід дуже обережно.

На повітрі жовтий фосфор легко окислюється. При цьому частина хімічної енергії перетворюється у світло. Тому жовтий фосфор у темряві світиться.

Жовтий фосфор — легкозаймиста речовина. Температура його займання 40°C , а в дуже роздрібненому стані він самозаймається на повітрі навіть при звичайній температурі. Тому жовтий фосфор зберігають під водою.

Термічна ортофосфорна кислота повинна бути виготовлена відповідно до вимог даного стандарту за технологічним регламентом, затвердженим в установленому порядку.

Залежно від області застосування термічна ортофосфорна кислота повинна випускатися наступних марок:

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Рихальська Є.-І.В.			<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Фесич І.В.								22	79
Консул.		Житнецький І.В.						<i>НУХТ. Кафедра ТЖХТ</i>			
Н. Контр.		Подобій О.В.									
Затверд.		Носенко Т.Т.									

А - харчова;

В - технічна, призначена для виробництва реактивної і харчової фосфорних кислот, технічних фосфорних солей, кормових фосфатів, добрив та інших цілей.

За фізико-хімічними показниками термічна ортофосфорна кислота повинна відповідати нормам, зазначеним у табл.2.1[13] .

Таблиця 2.1

**Фізико-хімічні показники термічної фосфорної кислоти
по ГОСТ 10678-76**

п / п	Найменування показника	Норми для марки		
		А	Б	
			1-й сорт	2-й сорт
1	2	3	4	5
1	Зовнішній вигляд	Безбарвна рідина прозора в шарі 15-20 мм при розгляді на білому фоні	Безбарвна або зі слабо-жовтим відтінком рідина в шарі 15-20 мм при розгляді на білому фоні	Безбарвна або пофарбована рідина з відтінком жовтуватого до коричневого, не прозора в шарі 15- 20 мм при розгляді на білому фоні
2	Масова частка ортофосфорно ї кислоти, %, не менше	73	73	73
3	Масова частка хлоридів, %, не більше	0,005	0,01	0,02
4	Масова частка сульфатів, %, не більше	0,010	0,015	0,020

1	2	3	4	5
5	Масова частка нітритів, %, не більше	0,0003	0,0005	0,0010
6	Масова частка заліза, %, не більше	0,005	0,010	0,015
7	Масова частка плюмбуму, %, не більше	0,0005	0,002	0,005
8	Масова частка миш'яку, %, не більше	0,0001	0,006	0,008
9	Масова частка відновлюючих речовин в перерахунку на H_3PO_3 , %, не більше	0,1	0,2	Не нормується

1. На вимогу споживача ортофосфорна кислота марки Б може поставлятися з масовою часткою ортофосфornoї кислоти 78-80%.

1а. Показники 3, 4, 5, 7, 10 для кислоти марки Б визначаються на вимогу споживача.

2. При застосуванні ортофосфornoї кислоти для виробництва добрив в марці Б показники підпунктів 3-11 таблиці не визначаються.

2а. За погодженням із споживачем для виробництва товарів народного споживання ортофосфорна кислота марки Б може поставлятися з масовою часткою ортофосфornoї кислоти не менше 43%.

3. На вимогу споживача ортофосфорна кислота марки Б 2-го сорту повинна бути відфільтрована від зважених часток до їх повного видалення.

4. Виключено.

5. Масова частка відновлюють речовин в ортофосфорної кислоти 1-го сорту нормується тільки для продукту, який використовується у виробництві технічних солей і кормових фосфатів.

6. У ортофосфорної кислоти марки Б, яка використовується у виробництві кормових фосфатів, масова частка фтору повинна бути не більше 0,1%; для виробництва хімічного волокна масова частка відновлюють речовин - не більше 0,1%[13].

Ортофосфорна кислота повинна відповідати технічним умовам ТУ 2142-002-00209450-96, наведеним у таблиці 2.2.

Ортофосфорна кислота технічна повинна відповідати технічним умовам ТУ 2121-342-00209438-04.

Таблиця 2.2

Показники ТУ 2142-002-00209450-96

№ п/п	Найменування показників	Норма
1	2	3
1	Зовнішній вигляд	Слабко жовта або жовта рідина
2	Масова частка ортофосфорної кислоти, %, не менше	73
3	Масова частка сульфатів, %, не більше	0,35
4	Масова частка заліза, %, не більше	0,04

5	Масова частка плюмбуму, %, не більше	0
6	Масова частка мишьяку, %, не більше	0
7	Масова частка фтору, %, не більше	0,01
8	Масова частка трибутилфосфату, %, не більше	0
9	Масова частка зважених частинок, %, не більше	0,05

Аналітичні вимоги до якості ортофосфорної кислот термічної по ТУ 2121-342-00209438-04:

- Масова частка ортофосфорної кислоти в рідкій освітленій фазі в перерахунку на P_2O_5 не менше 52%
- Масова частка сульфатної сірки в перерахунку на SO_3 не більше 4,5%
- Масова частка осаду не більше 5%
- Масова частка мишьяку не більше 0,004%

2.2. Принципова технологічна схема виробництва фосфорної кислоти

Принципова технологічна схема одержання термічної фосфорної кислоти наведена на рисунку 2.1.

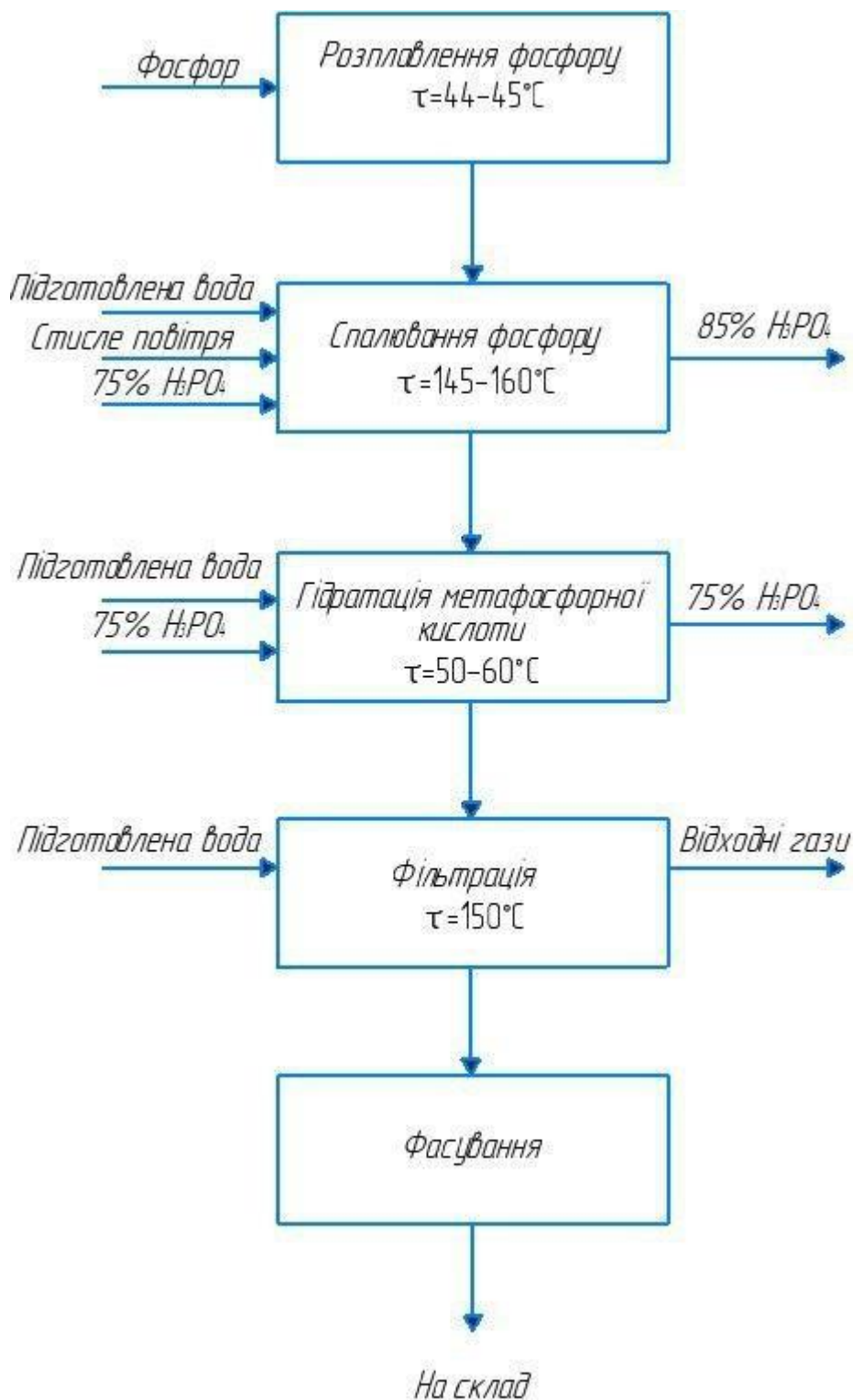


Рис. 2.1. Принципова технологічна схема виробництва термічної ортофосфорної кислоти.

1) Розплавлення фосфору.

Мета: підготовка сировини для подальших процесів перетворення.

Обладнання: Реактор з якірною мішалкою.

До реактора з якірною мішалкою завантажуюмо сировину, а саме фосфор. Після завантаження починають процес плавлення, для того щоб фосфор змінив свій агрегатний стан з твердого на рідкий. Процес відбувається при температурі 45-50°C. Рівномірне плавлення досягається за допомогою перемішуючого пристрою, якірної мішалки, та парової сорочки в яку подається водяна пара. Після розплавлення рідкий фосфор подається до башти спалювання двома відцентровими насосами. Пристрій ротометр слугує для того щоб контролювати напір фосфору так як він поступає до форсунки на розпилення та спалювання.

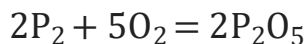
2) Спалювання фосфору.

Мета: спалити фосфор з подальшим його перетворенням на 85% фосфорну кислоту та газоподібну метафосфорну кислоту.

Обладнання: Башта спалювання.

Після стадії розплавлення рідкий фосфор за допомогою насосів поступає до башти спалювання куди під тиском подають вологе повітря. Процес іде у дві стадії при температурі 145-160°C.

Перша стадія полягає в самому згоранні фосфору при достатній кількості повітря та утворює фосфорний ангідрид. Процес іде за формулою:



Також до башти спалювання подають воду. При взаємодії з якою відбувається друга стадія утворення газоподібної метафосфорної кислоти. Процес можна охарактеризувати за формулою:



Також при достатній кількості води утворюється ортофосфорна кислота H_3PO_4 .

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після того як спалили фосфор та перетворили його в газоподібну метафосфорну кислоту вона направляється до стадії гідратації.

3) Гідратація метафосфорної кислоти.

Мета: перетворення метафосфорної кислоти у ортофосфорну кислоту різної концентрації.

Обладнання: Башта гідратації.

Утворена газоподібна метафосфорна кислота зі стадії спалення поступає в башту гідратації де зрошується водою та 75% фосфорною кислотою, яка була утворена у цій башті, але поступає для повного прореагування компонентів. При процесі зрошування метафосфорна кислота перетворюється у ортофосфорну, яка в свою чергу утворює туман. Процес відбувається за температури 50-60°C. Утворений туман поступає на стадію фільтрації, для зміни агрегатного стану.

4) Фільтрація

Мета: зміна агрегатного стану ортофосфорної кислоти.

Обладнання: Електрофільтр.

Після утворення туману ортофосфорної кислоти після процесу гідратації туман подається до електрофільтру. У електрофільтрі туман ортофосфорної кислоти змінює свій агрегатний стан завдяки осаджуючих електродів в якості яких застосовують вугільні труби, коронуючих електродів – срібні провода. Процес проходить при температурі 150°C. Виділенні в процесі електрофільтрації вихлопні гази виходять в атмосферу йдучи по вихлопним трубам 10.

5) Фасування

Мета: Фасування термічної 85% фосфорної кислоти у скляні тари для подальшого їх зберігання та реалізації.

Обладнання: збірник, дозатор, конвеєр

Після утворення термічної 85% фосфорної кислоти, вона направляється з башти спалювання та електрофільтру до збірника. Збірник слугує для зберігання

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та рівномірної подачі термічної 85% фосфорної кислоти до дозатору який в свою чергу дозує наповнення скляних тар фосфорною кислотою. Після наповнення скляні тари ковчєром доправляються на склад для подальшого зберігання та реалізації фосфорної кислоти.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розрахунок процесу отримання фосфорної кислоти

2.3.1. Розрахунок матеріального балансу

Матеріальний баланс башти спалювання фосфору.

Початкові дані:

Вміст домішок у фосфорі – 0,5%

Ступінь поглинання фосфорого ангідриду :

- в башті спалювання – 50%
- в башті гідратації – 44,5%
- в електрофільтрі – 5,5%

Концентрація H_3PO_4 , що утвориться:

- в башті спалювання – 85%
- в башті гідратації – 75%
- в електрофільтрі – 85%

Витрати повітря на спалювання 1 т фосфору:

- 10370 кг
- 8055 м³

Вологовміст газів, що виходять:

- в башті спалювання – 0,18 кг/кг сух. комп.
- в башті гідратації – 0,116 кг/кг сух. комп.
- в електрофільтрі – 0,11 кг/кг сух. комп.

Продуктивність башти спалювання – 3000 кг/год.

Прихід

1. Кількість фосфору, що надходить на спалювання, складає 1000 кг у відповідності до прийнятої основи розрахунку.

2. Кількість повітря, що подається в башту спалювання, дорівнює 10360 кг.

Кількість азоту, що надходять з повітрям, буде:

$$0,79 \cdot 8055 = 6363,5 \text{ м}^3 \text{ або } \frac{6363,5 \cdot 28}{22,4} = 7954 \text{ кг} \quad (2.1)$$

Кількість кисню, що надходять з повітрям, буде:

$$0,21 \cdot 8055 = 1691,5 \text{ м}^3 \text{ або } \frac{1691,5 \cdot 32}{22,4} = 2416 \text{ кг} \quad (2.2)$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Кількість води, необхідної для утворення та розведення фосфорної кислоти, а також тієї води, що уноситься з відхідними газами, розраховуємо при визначенні кількості утворених кислоти та відхідних газів.

Витрата

1. Кількість 100% H_3PO_4 , що утворюється

$$\frac{1000 \cdot 0,9952 \cdot 98}{31} = 3146 \text{ кг} \quad (2.3)$$

де 0,9952 – вміст чистого фосфору у фосфорі;

98 – молярна маса H_3PO_4 , кг/моль;

31 – молярна маса фосфору, кг/моль,

або в вигляді 85%-ної кислоти:

$$\frac{3146}{0,85} = 3701 \text{ кг} \quad (2.4)$$

При цьому утворюється фосфорної кислоти на окремих стадіях технологічного процесу:

1) в камері спалювання 50% від загальної кількості кислоти, тобто

$$3146 \cdot 0,5 = 1573 \text{ кг (100\%)} \text{ } \text{H}_3\text{PO}_4 \quad (2.5)$$

або в вигляді 85%-ного розчину

$$\frac{1573}{0,85} = 1850 \text{ кг} \quad (2.6)$$

2) в камері гідратації 44,5% від загальної кількості кислоти, тобто

$$3146 \cdot 0,445 = 1400 \text{ кг (100\%)} \text{ } \text{H}_3\text{PO}_4 \quad (2.7)$$

або в вигляді 75%-ного розчину

$$\frac{1400}{0,75} = 1867 \text{ кг} \quad (2.8)$$

3) в електрофільтрі 5,5% від загальної кількості кислоти, тобто

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$3146 \cdot 0,055 = 173 \text{ кг (100\%) } \text{H}_3\text{PO}_4 \quad (2.9)$$

або в вигляді 85%-ного розчину

$$\frac{173}{0,85} = 204 \text{ кг} \quad (2.10)$$

2. Знаходимо кількість вихідних газів з системи та на окремих стадіях технологічного процесу.

Процес спалювання фосфору йде за реакцією:



При спаленні 1 т фосфору витрачається кисню:

$$\frac{1000 \cdot 0,9952 \cdot 32 \cdot 5}{4 \cdot 31} = 1284 \text{ кг або } \frac{1284 \cdot 22,4}{32} = 899 \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

де 0,9952 – вміст чистого фосфору в фосфорі;

4 та 5 – коефіцієнти в рівнянні спалювання фосфору

Отже, з 10370 кг повітря які надійшли, йде з башти спалювання і потім з башти гідратації та електрофільтра:

$$10370 - 1284 = 9086 \text{ кг} \quad (2.13)$$

В ньому міститься:

$$\text{N}_2 - 7954 \text{ кг або } \frac{7954 \cdot 22,4}{28} = 6363 \text{ м}^3 \quad (2.14)$$

$$\text{O}_2 - 2416 - 1284 = 1132 \text{ або } \frac{1133 \cdot 22,4}{32} = 792 \text{ м}^3 \quad (2.15)$$

1) на виході з башти спалювання при вологовмісті 0,18

$$9086 \cdot 0,18 = 1635 \text{ кг або } \frac{1635 \cdot 22,4}{18} = 2034 \text{ м}^3 \quad (2.16)$$

2) на виході з башти гідратації при вологовмісті 0,116

$$9086 \cdot 0,116 = 1053 \text{ кг або } \frac{1053 \cdot 22,4}{18} = 1310 \text{ м}^3 \quad (2.17)$$

3) на виході з електрофільтра при вологовмісті 0,11

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$9076 \cdot 0,11 = 1000 \text{ кг або } \frac{1000 \cdot 22,4}{18} = 1244 \text{ м}^3 \quad (2.18)$$

Таблиця 2.3

Кількість та склад вологих газів на виході з башти спалювання

Компонент	Кількість, кг/год	Об'єм, м ³ /год	Склад, % об.
O ₂	1132	792	8,62
N ₂	7954	6363	69,23
H ₂ O(пар)	1635	2035	22,15
Всього:	10721	9190	100

4. Кількість води, що міститься в продуктах, які утворюються:

1) в фосфорній кислоті

$$3701 - 3146 + 3146 \cdot \frac{3 \cdot 18}{2 \cdot 98} = 1422 \text{ кг} \quad (2.19)$$

де 3701 – кількість отриманої 85%-ної кислоти, кг;

3146 – кількість утвореного моногідрату фосфорної кислоти (100%-ної),
кг;

867 – кількість води, що міститься в моногідраті фосфорної кислоти, кг.

2) в газі, що відходить – 1000 кг.

Отже, необхідно ввести в систему наступну кількість води:

$$1422 + 1000 = 2422 \text{ кг.} \quad (2.20)$$

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.4.

Матеріальний баланс виробництва фосфорної кислоти (на 1 т фосфору)

Прихід	кг	Вихід	кг
1. Фосфор	1000	1. Продукційна кислота (85%):	3701
		H_3PO_4	3146
		H_2O	555
2. Повітря :	10370	2. Гази, що відходять:	10086
кисень	2416	кисень	1132
азот	7954	азот	7954
		водяна пара	1000
3. Вода	2422	Домішки	5
Всього:	13792	Всього:	13792

2.3.2. Розрахунок матеріального балансу башти спалювання фосфору

В башту спалювання надходить вся кількість елементарного фосфору, що переробляється, та необхідного повітря, частина води, необхідної для здійснення процесу та фосфорна кислота, отримана в башті гідратації. З башти уходить в наступні апарати для подальшої переробки непоглинений фосфорний ангідрид, газу та пари води, а також продукційна кислота.

Прихід

1. Кількість фосфору, що подається на спалювання дорівнює 1000 кг.
2. Кількість повітря, що надходить до башти, відповідно вихідним даним, складає 10370 кг.
3. Кількість H_3PO_4 концентрацією 75%, що утворюється в башті гідратації та надходить в башту спаленні дорівнює 1867 кг.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, без урахування води, що подається, загальна кількість фосфору, повітря та фосфорної кислоти, які надходять, дорівнює:

$$1000 + 10370 + 1867 = 13237 \text{ кг.} \quad (2.21)$$

4. Необхідна кількість води, яка подається в башту спалювання, розрахуємо з різниці між витратою матеріалів з башти та кількістю матеріалів, що надходять до неї, без урахування води.

Витрата

1. В башті спалювання поглинається 50 % фосфорного ангідриду, що утворюється (відповідно до вхідних даних). Це складе:

$$\frac{1000 \cdot 0,9952 \cdot 142 \cdot 0,5}{2 \cdot 31} = 1139 \text{ кг} \quad (2.22)$$

де 142 – молярна маса фосфорного ангідриду, кг/моль;

31 – молярна маса фосфору, кг/моль;

0,9952 – вміст чистого фосфору в фосфорі.

Частина фосфорного ангідриду, що залишилася (1139 кг), уходить в башту гідратації.

2. Для спалення 1 т фосфору витрачається 1284 кг кисню, кількість суміші кисню та азоту, що уходить, дорівнює 9086 кг. В них міститься 7954 кг азоту і 1132 кг кисню. З ними уноситься 1635 кг водяної пари. Загальна кількість парогазової суміші, що відходить, складає 10721 кг.

З врахуванням утвореного фосфорного ангідрида кількість відходячих газів буде:

$$10721 + 1139 = 11861 \text{ кг.} \quad (2.23)$$

3. В башті спалювання утворюється 50%, а в башті гідратації – 44,5% від загальної кількості 85%-ної продукційної фосфорної кислоти (відповідно до вихідних даних). Отже з башти відводиться продукційної 85%-ної кислоти:

$$3701 \cdot (0,5 + 0,445) = 3497 \text{ кг,} \quad (2.24)$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де 3701 – кількість отриманої 85%-ної кислоти, кг.

В ній міститься:

$$\text{H}_3\text{PO}_4 - 3497 \cdot 0,85 = 2973 \text{ кг} \quad (2.25)$$

$$\text{H}_2\text{O} - 3497 \cdot 0,15 = 525 \text{ кг} \quad (2.26)$$

4. З матеріалами, що виходять з башти спалювання, виходять також домішки, що містяться у фосфорі. Кількість домішок дорівнює 5 кг.

Отже, витрата матеріалів, що надходять до башти спалювання складає:

$$1139 + 10721 + 3497 + 5 = 15362 \text{ кг} \quad (2.27)$$

5. За різницею між витратами матеріалів, що надходять в башту спалювання, знаходимо кількість подаваної води:

$$15362 - 13237 = 2125 \text{ кг} \quad (2.28)$$

Перевіримо отримане значення цієї величини по приватному балансу води в башті спалювання. Кількість води в продуктах, які відходять з башти:

– в газах, що відходять – 1635 кг;

– в кислоті:

- в вигляді води розчинення – 525 кг,

- в вигляді гідратної води $\frac{2973 \cdot 1,5 \cdot 18}{98} = 819 \text{ кг}$

де 2973 – кількість утвореної 100%-ної H_3PO_4 ;

1,5 · 18 – кількість води, що приходить на 98 мас. ч. H_3PO_4 .

Всього води уходить з башти спалювання:

$$1635 + 525 + 819 = 2979 \text{ кг} \quad (2.29)$$

Кількість води в 75 % H_3PO_4 , яка надходить до башти спалювання:

- в вигляді води розчинення $1867 \cdot 0,25 = 468 \text{ кг}$,

- в вигляді гідратної води $\frac{(1867 - 467) \cdot 1,5 \cdot 18}{98} = 386 \text{ кг}$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де 1874 – кількість кислоти, що надходить до башти спалювання з башти гідратації, кг.

кількість подаваної свіжої води – 2125 кг.

Таким чином, прихід та витрата води складає:

$$468 + 386 + 2125 = 1635 + 525 + 819$$

$$2979=2979$$

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Матеріальний баланс башти спалювання фосфору

Прихід	кг	Вихід	кг
1. Фосфор	1000	1. Продукційна кислота (85%):	3497
		H_3PO_4	2623
		H_2O	874
2. Повітря :	10370	2. Гази, що відходять:	11861
кисень	2416	P_2O_5	1139
азот	7954	кисень	1132
		азот	7954
		H_2O	1635
3. 75% фосфорна кислота:	1868	3. Домішки	5
H_3PO_4	1400		
H_2O	468		
4. Вода	2125		
Всього:	15363	Всього:	15363

2.3.3. Розрахунок матеріального балансу башти гідратації

В башту гідратації надходить із башти спалювання 10721 кг газів, що відходять та фосфрний ангідрид в кількості 1139 кг. Крім того, в башту гідратації подається деяка кількість води. Із башти гідратації відводяться в електрофільтр непрореагувавши гази та фосфорна кислота, а в башту спалювання 75% H_3PO_4 .

Для розрахунку необхідної кількості води розрахуємо витрати матеріалу із башти гідратації.

Кількість азота та кисню, що відходять з башти гідратації дорівнює 9086 кг. З ними відходить 1053 кг водяних парів. Загальна кількість газів, що відходять буде:

$$9086 + 1053 = 10139 \text{ кг} \quad (2.30)$$

100% H_3PO_4 утворюється 5,5% від загальної її кількості, тобто 173 кг.

Кількість 75% H_3PO_4 відходячої з башти дорівнює 1867 кг.

Таким чином, загальна витрата матеріалів з башти гідратації:

$$9086 + 1054 + 173 + 1867 = 12180 \text{ кг} \quad (2.31)$$

Виходячи з цього, в башту необхідно ввести води:

$$12180 - (10721 + 1139) = 320 \text{ кг} \quad (2.32)$$

Баланс води в башті гідратації:

Прихід

$$1635 + 320 = 1955 \text{ кг} \quad (2.33)$$

1635 – кількість водяного пару, що поступають з газами з башти спалювання.

Витрата

- з газами, що відходять 1053
- з 75% H_3PO_4 467 + 386 = 853

$$- \quad \text{з } 100\% \text{ Н Р О } \frac{173 \cdot 1,5 \cdot 18}{3 \cdot 4 \cdot 98} = 48$$

Витрати води складають: $1054 + 853 + 48 = 1955 \text{ кг}$

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Матеріальний баланс башти спалювання фосфору

Прихід	кг	Вихід	кг
1. Гази, з башти спалювання:	11861	1. Гази, що відходять:	10139
P ₂ O ₅	1139	кисень	1132
кисень	1132	азот	7954
азот	7954	H ₂ O	1053
H ₂ O	1635		
2. Вода	319	2. 75% Н ₃ РO ₄ :	1867
		H ₃ РO ₄	1400
		H ₂ O	467
		3. 100% Н ₃ РO ₄	173
Всього:	12180	Всього:	12180

2.3.4. Розрахунок теплового балансу

Тепловий баланс башти спалювання фосфору.

Вихідні дані:

Температура:

- фосфору, що надходить – 58,0°C
- кислоти з башти спалювання – 39,0°C
- оборотної кислоти – 59,5°C
- що витікає з башти – 79,0°C
- повітря, що надходить, 10% з яких нагріто до 60°C – 15,0°C
- газів, що відходять – 145,0°C

Розрахунок

Прихід

1. З фосфором:

$$Q_1 = 3000 \cdot 0,753 \cdot 60 = 135540 \text{ кДж/год} = 135,5 \text{ МДж/год} \quad (2.34)$$

де 0,753 – теплоємність рідкого фосфору, кДж/(кг·град);

3000 – потужність башти спалювання, кг/год.

2. З повітрям, що підігріте до 60 °С:

$$\frac{0,1 \cdot 8055 \cdot 3000}{1000} \cdot 1,298 \cdot 60 = 188197 \text{ кДж/год} = 188,2 \text{ МДж/год} \quad (2.35)$$

де 8055 – кількість повітря, що надходить на спалення 1 т фосфору, м³;

1,298 – теплоємність повітря, кДж/(м³·град).

З холодним повітрям (15 °С) надходить:

$$\frac{0,9 \cdot 8055 \cdot 3000}{1000} \cdot 1,298 \cdot 15 = 423443 \text{ кДж/год} = 423 \text{ МДж/год} \quad (2.36)$$

Отже, всього отримаємо тепла з повітрям:

$$Q_2 = 188197 + 423443 = 611640 \text{ кДж/год} = 611,6 \text{ МДж/год} \quad (2.37)$$

3. З кислотою концентрацією 75% Н₃РО₄, яка надходить з башти гідратації:

$$Q_3 = \frac{1867 \cdot 3000}{1000} \cdot 2,303 \cdot 40 = 515964 \text{ кДж/год} = 516 \text{ МДж/год} \quad (2.38)$$

де 1867 – кількість кислоти, кг на 1 т фосфору,

2,303 – теплоємність кислоти, кДж/(кг·град).

4. За рахунок хімічної реакції:

1) реакція спалення фосфору



$$\frac{2930,8 \cdot 3000 \cdot 1000}{4 \cdot 31} = 70906451 \text{ кДж/год} = 70906,5 \text{ МДж/год} \quad (2.40)$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) реакція гідратації 50% фосфорного ангідриду від загальної його кількості



$$\frac{390,2 \cdot 3000 \cdot 1000}{4 \cdot 31} \cdot 0,5 = 4720161 \text{ кДж/год} = 4720,2 \text{ МДж/год} \quad (2.42)$$

Всього виділяється тепла в результаті реакції:

$$Q_4 = 70906451 + 4720161 = 75626612 \text{ кДж/год} \quad (2.43)$$

5. З оборотною 85%-ною кислотою:

$$Q_5 = x \cdot 2,135 \cdot 60 = 128,1x \quad (2.44)$$

де x – кількість оборотної кислоти, що зрошує башту, кг;

2,135 – теплоємність кислоти при 60 °С, кДж/(кг·град).

Кількість оборотної кислоти x визначаємо, використовуючи рівняння теплового балансу приходу тепла:

$$Q_{\text{пр}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 135540 + 611640 + 515964 + 75626612 + 128,1x = 76889756 + 128,1x$$

Витрата

1. З продукційною 85%-ною фосфорною кислотою:

$$Q'_1 = 3497 \cdot \frac{3000}{1000} \cdot 2,177 \cdot 80 = 1827112 \text{ кДж/год} = 1827 \text{ МДж/год} \quad (2.45)$$

де 3497 – кількість продукційної кислоти, що утворюється в башті спалювання, кг;

$$3497 \cdot \frac{3000}{1000} \text{ – годинна кількість кислоти,}$$

2,177 – теплоємність 85%-ної кислоти при 80 °С, кДж/(кг·град).

2. З відхідними газами при 150 °С:

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q'_2 = 9190 \cdot \frac{3000}{1000} \cdot 1,306 \cdot 150 \cdot 0,778 + 1635 \cdot \frac{3000}{1000} \cdot 2750,7 = 17694133$$

$$\text{кДж/год} = 17694 \text{ МДж/год} \quad (2.46)$$

де 1,306 – теплоємкість суміші, кДЖ/(м³ ·град);

9190 – кількість газів, що відходять з башти, м³;

0,778 – доля киснево-азотної суміші в 1 м³ вологих газів, що відходять;

2750,7 – ентальпія водяної пари при 150 °С, кДж /кг;

1635 – волого вміст газів, що відходять, кг на 1 т спаленого фосфор).

3. З оборотною кислотою:

$$Q'_3 = x \cdot 2,177 \cdot 80 = 174,16x \quad (2.47)$$

4. Втрати тепла приймаємо за практичними даними, вони дорівнюють 418,68 кДж/год з 1 м² поверхні башти. При поверхні башти рівній 200 м² :

$$Q'_4 = 418,68 \cdot 200 = 83736 \text{ кДж/год} = 83,7 \text{ МДж/год} \quad (2.48)$$

Витрата тепла без урахування оборотної кислоти визначаємо за рівнянням:

$$Q_v = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + Q'_4 = 1827112 + 17694133 + 174,16x + 83736 = 19604981 + 174,16x$$

5. З рівняння теплового балансу

$$Q_{\text{пр}} = Q_v$$

визначимо кількість оборотної кислоти, що циркулює в башті в якості охолоджуючого агенту.

$$76889756 + 128,1x = 19604981 + 174,16x$$

$$57284775 = 46,06x$$

$$x = 1243698 \text{ кг/год} = 1243,7 \text{ т/год}$$

$$x = \frac{1215880}{1580} = 787 \text{ м}^3/\text{год}$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де 1580 – щільність 85%-ної фосфорної кислоти, кг/ м³ .

Результати теплового розрахунку наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Тепловий баланс башти спалювання фосфору

Прихід	МДж/год	Витрати	МДж/год
З рідким фосфором	135,5	З газами, що відходять	17694
З повітрям: підігрітим до 60°C холодним	188,2 423	З прдукційною 85% H ₃ PO ₄	1827
З 75% H ₃ PO ₄ надходячою з башти гідратації	516	З оборотною 85% H ₃ PO ₄ (1243698 · 2,177 · 80)	216602,4
За рахунок тепла реакцій: спалення фосфору гідратації фософрного ангідриду	70906,5 4720,2	Тепловитрати	83,7
З оборотною 85% H ₃ PO ₄ (1243698 · 2,135 · 60)	159317,7		
Всього	236207,1	Всього	236207,1

2.4. Підбір основного обладнання

Підбір основного обладнання здійснюється відповідно до розрахунків матеріального балансу та апаратурно–технологічної схеми виробництва фосфорної кислоти[14].

Основою для підбору устаткування є:

- кількість сировини, що обробляється за один раз;
- функціональність та продуктивність обладнання;
- вартість, енергоємність, габаритні розміри устаткування;
- зручність та безпечність його в експлуатації та обслуговуванні.

Обладнання за ступенем участі в технологічному процесі розділяють на:

- Основне
- Допоміжне
- Нейтральне.

Підбір допоміжного та нейтрального устаткування проводять після вибору основного за технологічною необхідністю [14].

1) Розплавлення фосфору

Ємнісні ректори з механічним перемішуючим пристроєм можуть бути вертикального і горизонтального виконання, в нашому випадку застосовано перший. Він являє собою вертикальний циліндричний апарат з якірною мішалкою, вісь обертання якої співпадає з віссю корпусу рисунок 2.2.

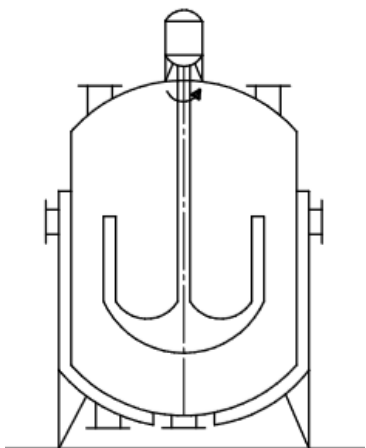


Рис. 2.2. Схема ємнісного реактора з якірною мішалкою

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Ректор обладнаний патрубками завантаження фосфору та відвантаження розплавленого фосфору. Також апарат обладнаний паровою сорочкою для розплавлення фосфору.

Хімічний вертикальний реактор н/с емальований 2,5 м³ з якірною мішалкою марки СЕРн – 2,5 м³.

Таблиця 2.9

Основні технічні параметри ємнісного реактора з якірною мішалкою СЕРн – 2,5 м³.

№	Характеристика	Значення
1	2	3
1	Об`єм	2,5 м ³
2	Діаметр валу мішалки в зоні ущільнення	76 мм
3	Діаметр реактора	1400 мм
4	Висота	3560/3710 мм
5	Ширина	2,4 м
6	Висота	2,5 м
7	Маса	2120/2160 кг
8	Тип редуктора	МДО2М-10ВК-28,2-3/50
9	Споживана потужність	3 кВт/год
10	Частота обертання ел.двигуна	1500 об/хв
11	Частота обертання мішалки	50 об/хв
12	Мережа живлення	(3 фази, струм зінний)
13	Напруга	380 В
14	Частота мережі	50 Гц

2) Гідратація метафосфорної кислоти

З башти спалювання газу метафосфорної потрапляють у башту гідратації. Вона являє собою башту в якій газу метафосфорної кислоти охолоджуються та зрошуються з утворенням фосфорної кислоти. Стальний кожух башти футерован у 2 шари кислототривкими плитами та вугільними блоками або кислототривкою цеглою рисунок 2.3.

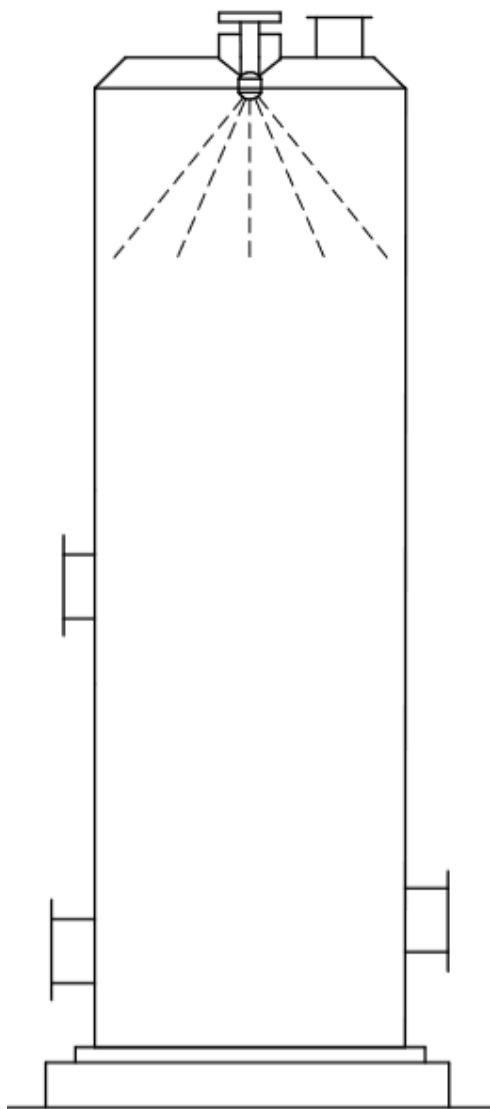


Рис. 2.3 Схема башти гідратації.

У башті, зрошувальною зверху водою та фосфорною кислотою, метафосфорна кислота перетворюється в ортофосфорну кислоту, яка утворює туман. Для виділення туманоутворюючої фосфорної кислоти газу паправляються в електрофільтр.

3) Фільтрація

В якості осаджувальних електродів застосовують вугільні труби, в якості коронуючих електродів – срібні дроти. Температура газу в електрофільтрі становить близько 150°C. Ступінь осадження 98-99 % рисунок 2.4.

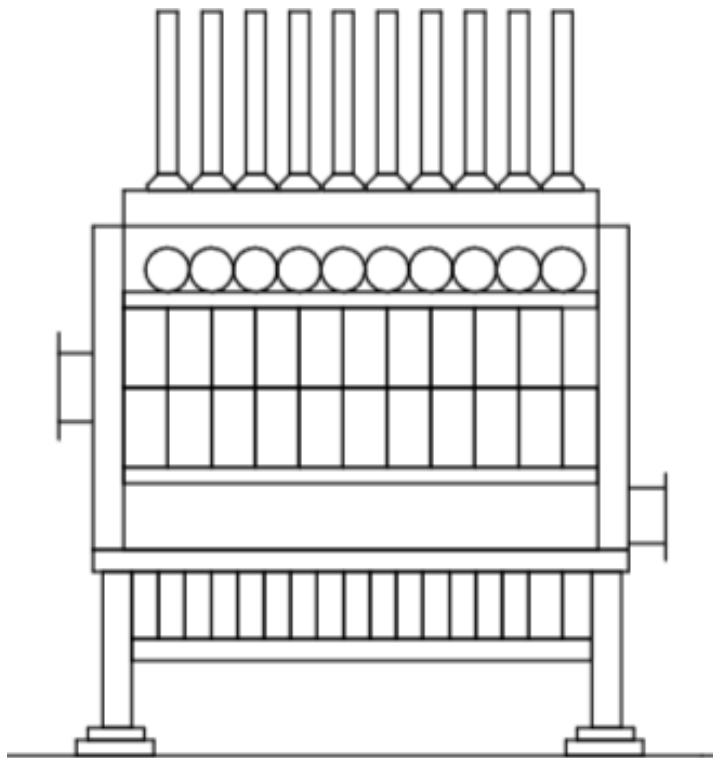


Рис. 2.4 Схема електрофільтру.

Щоб уникнути проникнення фосфорних газів в атмосферу, у нижній частині електрофільтру є гідравлічні затвори. З електрофільтру витікає 85% фосфорна кислота.

Таблиця 2.10

Технологічне обладнання процесу виробництва 85% фосфорної кислоти

№	Назва	Марка	Продуктивність	К-ть	Примітка 1
	2	3	4	5	6
1	Збірник фосфатної кислоти	STS	1 м ³	1	н/с
2	Відцетрові насоси	CP65	41 м ³ /год	6	pH 1.5 - 6.5

1	2	3	4	5	6
3	Стрічкові транспортери	ОЗСМ ТК- 24А	-	1	m=1,054 кг; L=14,0 м; H=2,2-5,1 м; l=0,5 м; 4,0 кВт
4	Реактор з якірною мішалкою	СЕРН – 2,5 м³	2,5 м³	1	Об'єм = 2,5 м³ D = 1400 мм L = 2.4 м H = 2,5 м 3 кВт/год N = 50 об./хв
5	Рідинний дозатор	Ж7-ДНТ-1- 6	20 – 120 посудин/хв	1	Кіл-ть дозаторів 10 2,6 кВт/год
6	Башта спалювання	На замовлення	3 т/год	1	н/с
7	Башта гідратації	На замовлення	3 т/год	1	н/с
8	Електрофільтр	На замовлення	1 т/год	1	н/с

2.5. Апаратурно–технологічна схема виробництва фосфорної кислоти

Апаратурно технологічна схема одержання термічної фосфорної кислоти наведена на рисунку 2.5.

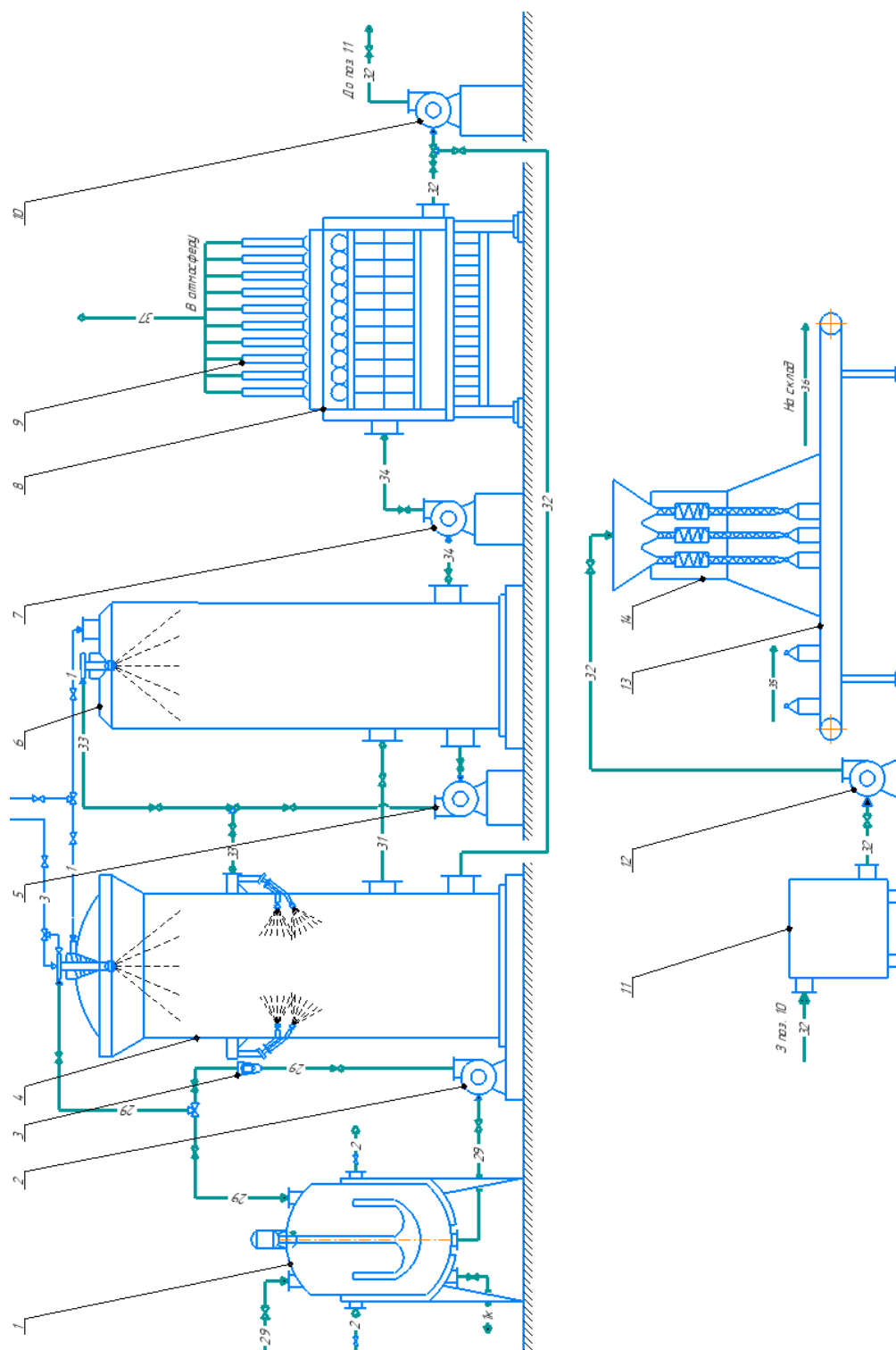
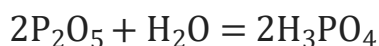
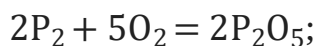


Рис. 2.5. Апаратурно – технологічна схема виробництва термічної ортофосфорної кислоти.

Вихідний продукт для виготовлення фосфорної кислоти термічним способом - елементарний фосфор. Його отримують в електричних печах сублімацією із фосфатів у присутності вуглецю і кремнезему:



Отриманий фосфор окислюють до фосфорного ангідриду, а потім останній гідратують водою; в результаті утворюється ортофосфорна кислота:



Послідовність проведення обох стадій - електротермічною сублімації фосфору і його подальшої переробки - визначає і два способи отримання фосфорної кислоти: одноступінчастий (в даний час майже не використовується) і двоступінчастий.

За двоступінчастим способом газоподібні продукти, що відходять з електричної печі, охолоджують для конденсації фосфору. Сконденсований фосфор переробляють спалюванням і гідратацією в фосфорну кислоту або перевозять в цистернах і переробляють в кислоту на місці її споживання.

Цим способом отримують більш чисту кислоту. Крім того, при необхідності в якості продукту можна отримувати також жовтий фосфор і утилізувати окис вуглецю[15].

За ГОСТ 10678-63 термічна фосфорна кислота (технічна 1 і 2 сортів) повинна містити не менше 73% H_3PO_4 і незначні кількості домішок (хлоридів, важких металів, фтору та ін.).

Очищений твердий фосфор розплавляють в реакторі з якірною мішалкою і забезпеченою паровим обігрівом.

Розплавлений фосфор подається відцентровими насосами 3, 4 до форсунки в башту спалювання 5. Ротометр 2 контролює напір розплавленого фосфору за для кращого дозування у форсунку.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Башту спалювання 5 виконують з кислототривкої цегли, форсунку виготовляють з кислототривкої сталі або хромистого чавуну.

У повітрі, що надходить на спалювання фосфору, завжди міститься волога, тому в продуктах горіння в значній мірі знаходиться вже не фосфорний ангідрид, а газоподібна метафосфорная кислота HPO_3 .

З башти спалювання 5 продукти горіння відправляються у башту гідратації 7 для охолодження газів з утворенням 75% фосфорної кислоти яка потім за допомогою відцентрового насоса 6 подається до форсунок у башті спалювання 5 та башти гідратації 7 за для кращого зрошування. Сталевий кожух вежі футерован в два шари кислототривкими плитками і вугільними блоками або кислототривкою цеглою.

У вежі, що гідратують зверху водою або розбавленою кислотою, метафосфорна кислота перетворюється на ортофосфорну кислоту H_3PO_4 , яка утворює туман. Для виділення туманної фосфорної кислоти газу, що виходять з башти гідратації, відправляються в електрофільтр 9 за допомогою відцентрового насоса 8, складений з кислотостійкої цегли. Виділенні в процесі електрофільтрації вихлопні газу виходять в атмосферу йдучи по вихлопним трубам 10

Після утворення термічної 85% фосфорної кислоти, вона направляється з башти спалювання 5 та електрофільтру 9 до збірника 12 відцентровим насосом 11. Збірник 12 слугує для зберігання та рівномірної подачі термічної 85% фосфорної кислоти до дозатору 15 який в свою чергу дозує наповнення скляних тар фосфорною кислотою. Після наповнення скляні тари ковсєром 14 доправляються на склад для подальшого зберігання та реалізації фосфорної кислоти [16].

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Розрахунок основного обладнання.

2.6.1. Будова та принцип роботи башти спалювання

Башта спалювання для типової технологічної нитки отримання фосфорної кислоти являє собою злегка звужуючийся донизу апарат висотою 16м, зварений з вуглецевої сталі, зсередини викладений поліізобутиленом і футерований діабазовою плиткою та кислототривкою цеглою.

Внутрішній діаметр верху 4000мм, діаметр низу 3500мм. У середній по висоті частини вежі розташовані форсунки для подачі кислоти для поліпшення умов гідратації та охолодження газу. Температура охолоджуючої кислоти становить 50-60 ° С. Температура газу на виході з башти дорівнює 150 ° С. На дні вежі завжди є шар фосфорної кислоти висотою 1400мм для запобігання футерування днища від руйнування високою температурою при згоранні фосфору.

Для тих же цілей внутрішня поверхня футеровки вежі зрошується тонкою плівкою фосфорної кислоти, що переливається через краї склянки, встановленого у верхній частині вежі. 90% повітря, необхідного для горіння фосфору, подається через патрубок, а 10% повітря подається в форсунку. Кінець патрубку введений в верхню частину вежі спалювання, в зону високих температур, виконується із триходової спіральної труби. По патрубку циркулює холодна вода. Вода виходить з труби на кришку башти, розбавляє кислоту, що надходить в кришку, переливається через стакан і надходить в башту.

Кришка вежі виконується з нержавіючої сталі і охолоджується водою із двох кільцевих колекторів.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

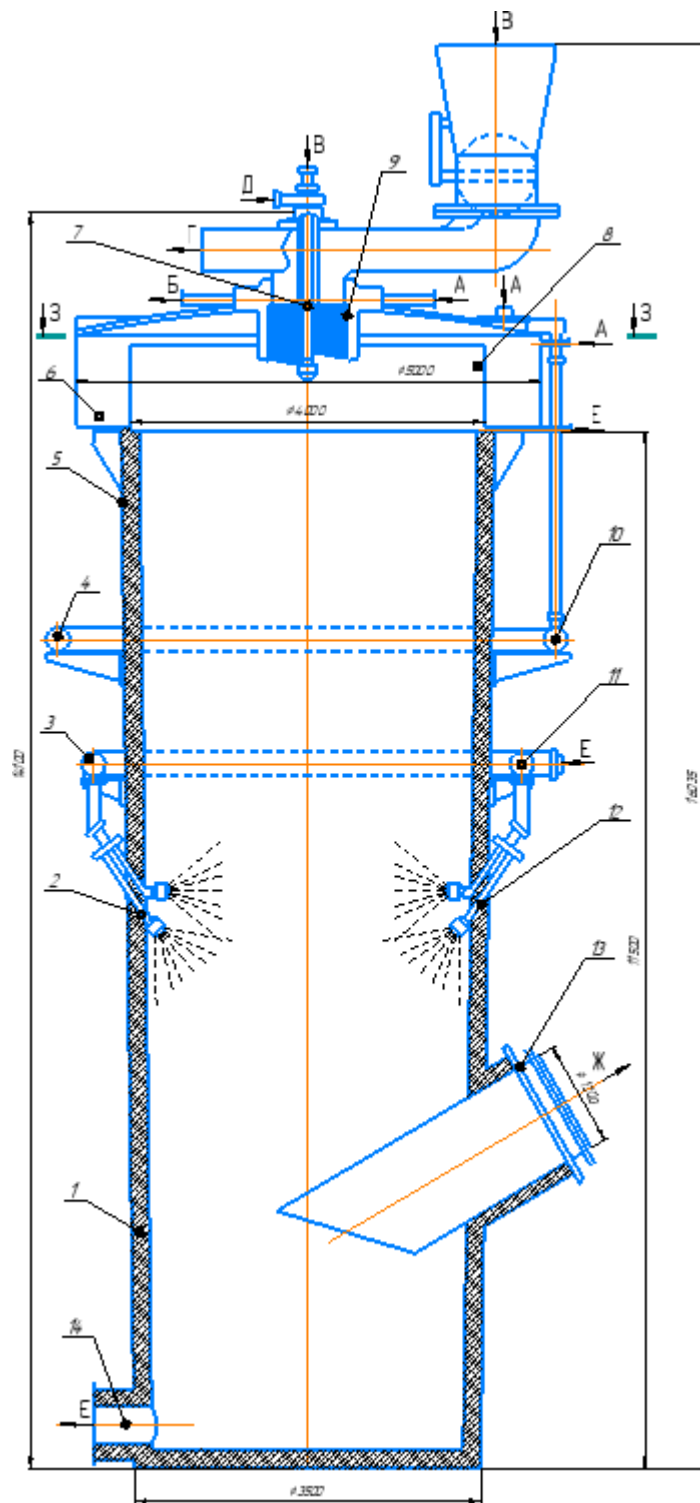


Рис. 2.6. Башта спалювання.

1 – футеровка, 2, 12 – розпилювальна форсунка, 3, 11 – колектор з охолоджуючою кислотою, 4, 10 – колектор з охолоджуючою водою, 5 – кожух, 6 – кришка, 7 – форсунка для спалювання фосфору, 8 – переливний стакан, 9 – змієвик з охолоджуючою водою, 13 – вихід газу, 14 – вихід фосфорної кислоти, 15 – повітряний насос.

2.6.2. Технологічний розрахунок

Приймаємо параметри сушильного процесу [17]:

$W_1 = 740$ кг/год – кількість видаленої вологи;

$t_1 = 60$ °C – температура повітря при вході в башту спалювання;

$t_2 = 15$ °C – температура повітря при виході з башти;

$\theta_1 = 58$ °C – температура фосфору при вході в башту;

$t_0 = 20$ °C – температура повітря в приміщенні;

Вологонапруженість одиниці об'єму башти сушіння:

$$A_v = 0,114 \left[\left(\frac{60+15}{2} - 20 \right) - 50 \right] = 3,7 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год} \quad (2.49)$$

Знаходимо об'єм сушильної камери з рівняння: [18]

$$V_k = \frac{W_1}{A_v} \quad (2.50)$$

де $A_v = 3,7$ кг/м² · год – величина, яка залежить від властивостей матеріалу, температурного режиму сушіння і конструктивних особливостей сушарки.

Тоді:

$$V_k = \frac{740}{3,7} = 200 \text{ м}^3 \quad (2.51)$$

Розраховуємо діаметр камери:

$$D_k = \sqrt[3]{\frac{4V_k}{\pi k}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 4}} = 4 \text{ м} \quad (2.52)$$

Приймаємо висоту камери:

$$H_u = \frac{4V_k}{\pi \cdot D_k^2} = \frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 4^2} = 16 \text{ м} \quad (2.53)$$

Швидкість повітря можна визначити за формулою:

$$v = 0,0127 \cdot \sqrt{W_1} = 0,345 \text{ м/с} \quad (2.54)$$

Переріз сушильної камери:

$$F_k = \frac{V}{3600 \cdot v} = \frac{16146}{3600 \cdot 0,345} = 13 \text{ м}^2 \quad (2.55)$$

Визначаємо діаметр камери за пропускною здатністю потоку повітря:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot F_k}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13}{3.14}} = 4 \text{ м} \quad (2.56)$$

Висота сушильної камери при геометричному коефіцієнті $K=4$:

$$H_k = D_k \cdot 4 = 4 \cdot 4 = 16 \text{ м} \quad (2.57)$$

Об'єм сушильної камери

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot H_k = \frac{3.14 \cdot 4^2}{4} \cdot 16 = 200 \text{ м}^3 \quad (2.58)$$

Висновок до розділу 2

В даному розділі наведено інформацію про сировину та її кількісний склад.

1. Проведено аналіз апаратурних схем та виділено, що найкращим рішенням було замінити плавильний, буферний та витратний баки на реактор з якірною мішалкою. Для покращення зрошення до башти спалювання було додано 4 форсунки, з яких розбризкується 75% фосфорна кислота. Для ергономічності до цеху було додано лінію фасування.

2. Розрахована башта спалювання.

3. Обґрунтовано переваги використання запропонованої, удосконаленої технології. На підставі проведених матеріальних розрахунків встановлено, що з 1 т фосфора отримується 3,7 т 85% термічної фосфорної кислоти.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1. Розрахунок калькуляційних статей

1 стаття: витрати на придбання сировини продукції. Розрахунок витрат представлений в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахунок витрат на сировину продукції

Сировина	Витрата сировини на 1 тонну продукції, B_1 , тонн	Ціна за тонну, Ц, грн.	Витрати, $B_2=B_1 \cdot Ц$ грн.	Всього, грн.
Р	0,27	17450	$17450 \cdot 0,27 = 4711,5$	4711,5

2 стаття: паливо і енергія на технологічні потреби. Дана стаття включає в себе витрати на використання пари, мережної води, електроенергії, теплофікаційної води [19].

Таблиця 3.2

Розрахунки витрат на технологічні потреби

Вид палива та енергії	Витрата на 1 тонну продукції, B_1	Ціна, Ц, грн.	Витрати, $B_2=B_1 \cdot Ц$ грн.	Всього, грн.
Електроенергія, кВт·год	0,97	522,44	506,77	$506,77 + 84,64 = 591,41$
Вода теплофікаційна, m^3	412,88	0,205	84,64	

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</i>				Літ.	Арк.	Аркуші	
Розроб.	Рихальська Є.-І.В.										58	79
Перевір.	Фесич І.В.											
Реценз.	Іщенко В.М.								<i>НУХТ. Кафедра ТЖХТ</i>			
Н. Контр.	Подобій О.В.											
Затверд.	Носенко Т.Т.											

3 стаття: витрати на заробітну плату становлять $\text{ФСП}_{\text{пит}} = 1234,86$ грн.

4 стаття: відрахування до позабюджетних фондів, які складають 34% від ФСП, і професійний страховий ризик, який становить 0,7 % від ФСП.

Тоді витрати за статтею 4 становлять:

$$\frac{1234,86 \cdot 34}{100} + \frac{1234,86 \cdot 0,7}{100} = 428,5 \text{ грн}$$

5 стаття: витрати на підготовку і освоєння виробництва. Стаття включає в себе витрати на застосування регламенту на даному виробництві, витрати на підготовку обладнання. Витрати за цією статтею становитимуть 480000 грн., питомі 32,16 грн.

6 стаття: витрати на утримання та експлуатацію обладнання.

Дана стаття включає в себе:

– амортизацію обладнання, яке розраховується за формулою:

$$A = \frac{H_a}{100} \cdot \phi_{\text{сер.р.обл}}, \quad (3.1)$$

де $\phi_{\text{сер.р.обл}} = 6837000$ – середньорічна вартість будівлі, грн.; $H_a = 5\%$ – норма амортизації, яка визначається за формулою:

$$H_a = \frac{100\%}{T_{\text{сл}}}, \quad (3.2)$$

де $T_{\text{сл}} = 20$ – нормативний термін служби устаткування, років

$$H_a = \frac{100}{20} = 5\%$$

$$A = \frac{5}{100} \cdot 6837000 = 341850 \text{ грн.}$$

$$A_{\text{нум}} = \frac{341850}{9800} = 34,88 \text{ грн.}$$

– вартість ремонтних робіт, яка складає 25% від вартості обладнання:

$$\frac{25 \cdot 6837000}{100} = 1709250 \text{ грн.}$$

на одиницю продукції 1709,25 грн.

Загальні затрати за статтею 6 становлять: $34,88 + 1709,25 = 1744,13$ грн.

7 стаття: цехові і загальновиробничі витрати. Стаття включає в себе:

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– амортизацію будівлі, яка розрахована за формулою (3.1):

$$A = \frac{4}{100} \cdot 5620000 = 224800 \text{ грн.}$$

$$A_{\text{норм}} = \frac{224800}{9800} = 22,94 \text{ грн.}$$

де $\phi_{\text{ср.р.буд}} = 5620000$ – середньорічна вартість будівлі, грн.; $H_a = 4\%$ – норма амортизації, яка визначається за формулою (3.2):

$$H_a = \frac{100}{25} = 4\%$$

де $T_{\text{сл}} = 25$ – нормативний термін служби будівлі, років.

– витрати на утримання приміщень (витрати на освітлення, опалення).

Витратна норма 0,67 кВт·год, ціна за 1кВт·год 522,44 грн.

Витрати становлять:

$$0,67 \cdot 522,44 = 350 \text{ грн.}$$

$$\text{Загальні витрати за статтею 7: } 350 + 4,26 = 354,34 \text{ грн.}$$

На основі статей з 1 по 7 визначаємо собівартість цеху [20]:

$$C_{\text{цех}} = 4711,5 + 591,41 + 1234,86 + 428,49 + 32,16 + 1744,13 + 354,34 = 9096,89 \text{ грн.}$$

8 стаття: загальні господарські витрати. Дані витрати складають 20 % від ФСП:

$$\frac{20 \cdot 1234,86}{100} = 246,97 \text{ грн.}$$

На основі статей з 1 по 8 визначається виробнича собівартість:

$$C_{\text{вироб}} = C_{\text{цех}} + 246,97 \text{ грн} = 9096,89 + 246,97 = 9343,86 \text{ грн.}$$

9 стаття: позавиробничі витрати. Дані витрати складають 3% від виробничої собівартості:

$$\frac{3 \cdot 9343,86}{100} = 280,32 \text{ грн.}$$

Зведемо отримані дані в таблицю 3.3.

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3

Розрахунок собівартості на 1 тону продукції

Стаття витрат	Видаткова норма матеріалу	Ціна, грн.	Сума, грн.
1	2	3	4
Сировина і матеріали: Р, тонн	0,27	17450	4711,5
Всього			4711,5
Паливо та енергія на технологічні потреби: Електроенергія, кВт·год	790	2,07	1635,3
Вода теплофікаційна, м ³	975	20	19500
Всього			21135,3
Витрати на з/п робітників підприємства			1234,86
Відрахування у позабюджетні фонди			428,5
Витрати на підготовку і освоєння виробництва			32,16
Витрати на утримання і експлуатацію обладнання: амортизація обладнання			34,88
вартість ремонтних робіт			1709,25
Всього			1744,13

1	2	3	4
Цехові і загальновиробничі витрати:			
амортизація будівель			4,26
витрати на утримання приміщень, кВт·год	0,67	522,44	350
Всього			354,34
Загальні господарські витрати			246,97
Позавиробничі витрати			280

Шляхом підсумовування всіх витрат отримуємо повну собівартість 1 тонни H_3PO_4 :

$$C_{\text{нов}} = 4711,5 + 21135,3 + 1234,86 + 428,49 + 32,16 + 1744,13 + 354,34 + 246,97 + 280 = 30167,75 \text{ грн.}$$

3.2. Визначення ціни продукції

Повна собівартість продукції на рік становить [21]:

$$C_{\text{пов}} = 30167,75 \cdot 9800 = 295643950 \text{ грн.}$$

Оптова ціна 1 тонни H_3PO_4 , тобто ціна підприємства, яку воно встановлює на свою продукцію без НДВ, дорівнює 35000 грн.

Оптова ціна відпускна (ринкова ціна продукції) з урахуванням величини НДВ = 18 % дорівнює:

$$C_{\text{отп}} = 1,18 \cdot 36000 = 11800 \text{ грн.}$$

3.3. Розрахунок показників рентабельності

Рентабельність товарної продукції визначається за формулою [22]:

$$P_{\text{тп}} = \frac{\Pi_{\text{п}}}{C_{\text{тп}}} \cdot 100 \% \quad (3.3)$$

$$P_{\text{тп}} = \frac{4832,25}{30167,75} \cdot 100 = 16 \%,$$

де $\Pi_{\text{п}} = (35000 - 30167,75) = 4832,25$ – прибуток, який отримує підприємство від виробництва одиниці продукції, грн.; $C_{\text{тп}} = 30167,75$ – собівартість товарної продукції, грн.

Показник рентабельності, який характеризує прибутковість товарної продукції і рентабельність (прибутковість) підприємства.

Рентабельність продажу визначається за формулою (3.4):

$$R_{\text{продаж}} = \frac{\Pi_{\text{пр}}}{\text{ВР}} \quad (3.4)$$

$$R_{\text{продаж}} = \frac{1145032}{98000000} \cdot 100 = 1,17 \%,$$

де $\Pi_{\text{пр}} = 1145032$ грн. – прибуток, яку підприємство отримує від продажу продукції;

$\text{ВР} = 35000 \cdot 9800 = 343000000$ грн. – виручка від продажу товарної продукції.

Показник рентабельності показує, який відсоток прибутку отримує підприємство з кожної гривні реалізації [23].

Рентабельність підприємства (загальна) визначається за формулою:

$$R_{\text{заг}} = (35000 - 30167,75) / 35000 \cdot 100 \% = 13,8 \%$$

Це значення рентабельності показує, скільки відсотків становить прибуток у товарообігу.

РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

1) Загальні вказівки щодо проведення аналізу - по ГОСТ 27025.

При зважуванні застосовують лабораторні ваги загального призначення типів ВЛР-200 г і ВЛКТ-500 г-М або ВЛЕ-200 г.

Допускається застосування інших засобів вимірювання з метрологічними характеристиками і обладнання з технічними характеристиками не гірше, а також реактивів за якістю не нижче зазначених в цьому стандарті.

2) Проби відбирають по ГОСТ 3885. Маса середньої проби повинна бути не менше 1800 г.

Обсяг ортофосфорної кислоти, необхідний для аналізу, відбирають піпеткою з гумовою грушею або циліндром з похибкою не більше 1%.

3) Визначення зовнішнього вигляду і кольору.

Проведення аналізу

5 см³ препарату поміщають в пробірку з безбарвного скла. В іншу таку ж пробірку поміщають 5 см³ дистильованої води.

При наявності в пробі кристалів пробірку з пробою слід опустити в воду, що має температуру 23-25 ° С, для розплавлення кристалів.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо при порівнянні з дистильованою водою по осі пробірки він буде прозорим, безбарвним і не буде містити зважених часток.

4) Визначення масової частки ортофосфорної кислоти.

Проведення аналізу

Близко 2,5000 г (1,5 см³) препарату поміщають в мірну колбу, розчиняють у воді, доводять об'єм розчину водою до мітки і перемішують.

25 см³ отриманого розчину поміщають піпеткою в стакан, додають 75 см³ води і титрують з бюретки при перемішуванні розчину магнітною мішалкою розчином гідроксиду натрію до рН 4,6, використовуючи в якості вимірювального

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Рихальська Є.-І.В.			ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Лім.	Арк.
Перевір.		Фесич І.В.					Аркушів
Реценз.		Іщенко В.М.					64
Н. Контр.		Подобій О.В.					79
Затверд.		Носенко Т.Т.				НУХТ. Кафедра ТЖХТ	

електрода - скляний, в якості електрода порівняння - хлорсеребристий або насичений каломельний.

Обробка результатів

Масову частку ортофосфорної кислоти X , % розраховують за формулою

$$X = \frac{V \cdot 0,009799 \cdot 250 \cdot 100}{m \cdot 25},$$

де V – об'єм розчину гідроксиду натрію концентрації точно 0,1 моль / дм³, який витрачено на титрування, см³;

m – маса наважки препарату, г;

0,009799 – маса ортофосфорної кислоти, відповідна 1 см³ розчину гідроксиду натрію концентрації точно 0,1 моль / дм³.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, абсолютна розбіжність між якими не повинна перевищувати допустиме розходження, рівне 0,3%.

5) Визначення масової частки залишку після прожарювання.

5 г (2.9 см³) препарату вносять в платинову чашку, попередньо прожарену до постійної маси і зважену (результат зважування в грамах записують з точністю до четвертого десяткового знака), випарюють в муфельній печі, поступово підвищуючи температуру, а потім прожарюють залишок при 900-1000 °С до постійної маси.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо маса залишку після прожарювання не перевищуватиме:

для препарату хімічно чистий – 2,5 мг,

для препарату чистий для аналізу – 5,0 мг,

для препарату чистий – 10,0 мг.

Відносна сумарна похибка результату аналізу $\pm 25\%$ для препарату хімічно чистий і $\pm 10\%$ для препарату чистий для аналізу і чистий при довірчій ймовірності $p = 0,96$.

6) Визначення масової частки летких кислот (CH₃COOH)

Проведення аналізу

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

100 г (близько 58 см³) препарату завадять в колбу 2-200-2, розчиняють у воді, доводять об'єм розчину водою до мітки і перемішують - розчин 1.

100 см³ розчину 1 (відповідають 50 г препарату), поміщають в колбу К-1-250-29 / 32 і додають 100 см³ води. Потім колбу з вмістом приєднують до холодильника і відганяють 50 см³ рідини, збираючи відгін в колбу Кн-2-100-22 (з міткою на 75 см³), що містить 25 см³ води. До відгону додають 2 краплі розчину фенолфталеїну і титрують з бюретки розчином гідроксидом натрію до появи незникаючого рожевого забарвлення розчину.

Одночасно в тих же умовах проводять контрольний дослід, відганяючи той же обсяг з 100 см³ дистильованої води.

Обробка результатів

Масову частку летючих кислоти (CH₃COOH) X₁, % розраховують за формулою.

$$X_1 = \frac{(V - V_1) \cdot 0,0006 \cdot 100}{m},$$

де V – об'єм розчину гідроксиду натрію концентрації точно 0,01 моль / дм³. витрачений на титрування аналізованого розчину, см³;

V₁ – об'єм розчину гідроксиду натрію концентрації точно 0,01 моль / дм³, витрачений на титрування контрольного розчину, см³;

m – маса наважки аналізованого препарату, г

0,0006 - маса CH₃COOH, що відповідає 1 см³ розчину гідроксиду натрію концентрації точно 0.01 моль / дм³, г.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, абсолютна розбіжність між якими не повинна перевищувати допустиме розходження, рівне 0,0002%.

7) Визначення масової частки нітратів проводять по ГОСТ 10671.2

При цьому 4 см³ розчину 1 (відповідають 2 г препарату), поміщають в конічну колбу місткістю 50-100 см³, додають 6 см³ води і перемішують. Далі визначення проводять методом із застосуванням індигокарміну.

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо спостерігається через 5 хв забарвлення аналізованого розчину не буде слабкіше забарвлення розчину, приготованого одночасно з аналізованих і містить в такому ж обсязі:

для препарату хімічно чистий – 0,006 мг NO_3 ,

для препарату чистий для аналізу – 0,010 мг NO_3 ,

для препарату чистий – 0,010 мг NO_3 ,

1 см³ розчину хлористого натрію, 1 см³ розчину індигокарміну і 12 см³ концентрованої сірчаної кислоти.

8) Визначення масової частки сульфатів проводять по ГОСТ 10671.5.

При цьому 12,5 г (близько 7,2 см³) препарату поміщають в конічну колбу місткістю 100 см³ (з міткою на 50 см³), розчиняють в 20 см³ води і нейтралізують розчином аміаку з масовою часткою 10% по 2.4-динітрофенолу (розчин з масовою часткою 0,1% готують по ГОСТ 4919.1) до появи слабо-жовтого забарвлення, що спостерігається на тлі молочного скла. Потім розчин охолоджують, доводять об'єм розчину водою до мітки і перемішують - розчин 2.

16 см³ розчину 2 (відповідають 4 г препарату) поміщають циліндром в стакан або конічну колбу місткістю 50 см³, додають 2,5 см³ води, 7,5 см³ розчину соляної кислоти і перемішують. Далі визначення проводять візуально-нефелометричним методом (спосіб 1), не додаючи розчину соляної кислоти і додаючи 3 см³ етилового спирту замість 3 см³ розчину крохмалю.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо спостерігається через 30 хв опалесценція аналізованого розчину не буде інтенсивніше опалесценції розчину, приготованого одночасно з аналізованих і містить в такому ж обсязі:

для препарату хімічно чистий – 0,015 мг SO_4 ,

для препарату чистий для аналізу – 0,06 мг SO_4 ,

для препарату чистий – 0,09 мг SO_4 ,

4 см³ розчину 2 (відповідають 1 г препарату), 3 см³ розчину соляної кислоти, 3 см³ спирту і 3 см³ розчину хлористого барію.

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9) Визначення масової частки хлоридів проводять по ГОСТ 10671.7.

При цьому 14 см³ розчину 1, (відповідають 7 г препарату), поміщають циліндром в конічну колбу місткістю 100 см³, додають 23 см³ води і перемішують. Далі визначення проводять візуально-нефелометричним методом, додаючи 5 см³ розчину азотної кислоти замість 2 см³.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо спостерігається через 20 хв опалесценція аналізованого розчину не буде інтенсивніше опалесценції розчину, приготованого одночасно з аналізованих і містить в такому ж обсязі:

для препарату хімічно чистий – 0,005 мг Cl,

для препарату чистий для аналізу – 0,010 мг Cl,

для препарату чистий – 0,015 мг Cl,

4 см³ розчину 1, (відповідають 2 г препарату). 5 см³ розчину азотної кислоти і 1 см³ розчину азотнокислого срібла.

10) Визначення масової частки амонійних солей

Проведення аналізу

4 см³ розчину 1 (відповідають 2 г препарату), поміщають в круглодонну колбу, додають 31 см³ води, 15 см³ розчину гідроксиду натрію, швидко приєднують колбу до приладу для відділення аміаку дистиляцією, перемішують вміст колби і відразу відганяють 25 см³ розчину в мірний циліндр, що містить 5 см³ води і 5 см³ розчину соляної кислоти. Розчин переносять в конічну колбу або пробірку (з пришліфованою пробкою) місткістю 100 см³, додають 10 см³ води, перемішують, додають при перемішуванні 1 см³ розчину гідроксиду натрію і 1 см³ реактиву Несслера.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо спостерігається через 10 хв забарвлення аналізованого розчину не буде інтенсивніше забарвлення розчину, приготованого одночасно з аналізованих і містить в такому ж обсязі:

для препарату хімічно чистий – 0,01 мг NH₄, для

препарату чистий для аналізу – 0,04 мг NH₄,

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для препарату чистий – 0,04 мг NH_4 ,
5 см³ розчину соляної кислоти, 1 см³ розчину гідроксиду натрію і 1 см³ реактиву Несслера.

В результат визначення вводять поправку на масу амонійних солей в вживаному для перегонки обсязі розчину гідроксиду натрію, яка визначається контрольним дослідом.

11) Визначення масової частки заліза проводять по ГОСТ 10555.

При цьому 2 см³ розчину 1 (відповідають 1 г препарату), поміщають піпеткою в мірну колбу місткістю 50 см³ і додають 18 см³ води. Далі визначення проводять сульфасаліциловим методом.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо маса заліза не буде перевищувати:

для препарату хімічно чистий – 0,005 мг,

для препарату чистий для аналізу – 0,010 мг,

для препарату чистий – 0,020 мг,

Допускається закінчувати визначення візуально.

При розбіжності в оцінці масової частки заліза аналіз закінчують фотометричним методом.

12) Визначення масової частки миш'яку проводять по ГОСТ 10485.

При цьому 5 см³ розчину 1 (відповідають 2,5 г препарату), поміщають піпеткою в колбу приладу і додають 25 см³ води.

Далі визначення проводять візуальним методом із застосуванням бромно-ртутного паперу в солянокислому або сірчанокислому середовищі.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо забарвлення бромно-ртутного паперу від аналізованого розчину не буде інтенсивніше забарвлення бромно-ртутного паперу від розчину, приготованого одночасно з аналізованих і містить в такому ж обсязі:

для препарату хімічно чистий – 0,00125 мг As,

для препарату чистий для аналізу – 0,0025 мг As,

для препарату чистий – 0,0050 мг As,

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і відповідні кількості реактивів по ГОСТ 10485.

При розбіжності в оцінці масової частки миш'яку аналіз проводять в сірчанокиислому середовищі.

13) Визначення масової частки важких металів проводять по ГОСТ 17319.

При цьому 10 см³ розчину 1 (відповідають 5 г препарату), поміщають піпеткою в конічну колбу місткістю 100 см³ (з міткою на 30 см³, з пришліфованою або гумовою пробкою), додають 5 см³ води, нейтралізують розчином аміаку з масовою часткою 10% по 2,4-динітрофенолу (розчин з масовою часткою 0,1% готують по ГОСТ 4919.1), доводять об'єм розчину водою до мітки і перемішують. далі визначення проводять сірководневим методом, додаючи 5 см³ оцтової кислоти замість 1 см³.

Препарат вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо спостерігається забарвлення аналізованого розчину не буде інтенсивніше забарвлення розчину, приготовленого одночасно з аналізованих і містить в такому ж обсязі:

для препарату хімічно чистий – 0,02 мг Pb,

для препарату чистий для аналізу – 0,02 мг Pb,

для препарату чистий – 0,04 мг Pb,

2 см³ розчину 1, (відповідають 1 г препарату) і нейтралізованого розчином аміаку 2,4-динітрофенол, 5 см³ оцтової кислоти, 1 см³ розчину оцтовокислого амонію і 10 см³ сірководневої води.

14) Визначення масової частки речовин, які відновлюють KMnO₄, (H₃PO₃)

Проведення аналізу

100 г (близько 60 см³) препарату хімічно чистий і чистий для аналізу або 10 г (близько 6 см³) препарату чистий поміщають циліндром і піпеткою в колбу Кн-2-250-34, додають 100 см³ води, 25 см³ розчину сірчаної кислоти, 5,0 см³ розчину марганцевокислого калію і кип'ятять 1 хв. Гарячий розчин титрують з бюретки розчином щавлевої кислоти.

Одночасно в тих же умовах проводять титрування контрольного розчину, що містить 100 см³ води, 25 см³ розчину сірчаної кислоти і 5,0 см³ розчину

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

марганцевокислого калію.

Обробка результатів

Масову частку речовин, що відновлюють марганцевокислий калій (H_3PO_3) X_2 , %, обчислюють за формулою

$$X_2 = \frac{(V - V_1) \cdot 0,0041 \cdot 100}{m},$$

де V , – обсяг розчину щавлевої кислоти концентрації точно 0,1 моль / дм^3 , витрачений на титрування аналізованого розчину, см^3 ;

V_1 – об'єм розчину щавлевої кислоти концентрації точно 0,1 моль / дм^3 , витрачений на титрування контрольного розчину, см^3 ;

m – маса навішення препарату, г;

0.0041 – маса H_3PO_3 , відповідна 1 см^3 розчину щавлевої кислоти концентрації точно 0.1 моль / дм^3 , г.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, відносне розходження між якими не перевищує розбіжність, що допускається, рівне 20%. [13]

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

РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Екологічність проекту

В результаті виробництва фосфорної кислоти гідросферу забруднюють кислі стоки. Для одержання 1 т P_2O_5 у вигляді 85%-го розчину термічної фосфорної кислоти витрачається до 220 м³ води. Близько 95% цієї кількості витрачається на охолодження. Однак у виробничому процесі утворюється велика кількість забруднених стічних вод – до 120 м³ /год. Літосфера забруднюється фосфогіпсом – багатотонажним відходом, який утворюється в процесі виробництва. В процесі кристалізації гіпсу в його кристалічні грати входять аніони HPO_4 - 2 , що приводить до утворення фосфогіпсу. На 1т P_2O_5 (у фосфорній кислоті) одержують до 8,5 т фосфогіпсу дигідрату. Це сірий дрібнокристалічний грудкуватий порошок вологістю до 40%. У перерахуванні на суху речовину містить до 94% $CaSO_4$. Основні домішки: фосфати, що не прореагували, сполуки F, Sr, не відмита H_3PO_3 ; крім цього – сполуки Mn, Mo, CO, Zn, Si, рідкісноземельних та інших елементів.

Рідкий фосфор, що утворюється в конденсаторах, збирається під шаром води в збірниках, звідки сифонується у відстійники. Тут фосфор розшаровується з утворенням шламу (фосфор, пил, діоксид кремнію, сажа), з якого одержують фосфорну кислоту.

Фосфіди заліза (Fe_2P , Fe_3P), що утворюються при відновленні $Ca_3(P_2O_4)_2$ і Fe_2O_3 , періодично зливають з печі. При застиганні їхнього розплаву утворюється чавуноподібна маса – феррофосфор, вихід якого залежить від вмісту у вихідній руді оксидів заліза. Його використовують в основному в металургії як присадку в ливарному виробництві або як розкислювач, а також як захисний матеріал від радіоактивного випромінювання.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Рихальська Є.-І.В.			<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Фесич І.В.								72	79
Реценз.		Іщенко В.М.						<i>НУХТ. Кафедра ТЖХТ</i>			
Н. Контр.		Подобій О.В.									
Затверд.		Носенко Т.Т.									

Пил, що збирається в електрофільтрах при очищенні пічних газів, може бути використано як мінеральне добриво, тому що він містить до 22% P_2O_5 , і K_2O (іноді до 15%), які засвоюються.

Газ, що залишає конденсатори, містить до 85% (об.) оксиду вуглецю, 0,05% фосфору, 0,2-0,4% PH_3 , 0,5-1% H_2S і інші домішки. Його звичайно використовують як паливо, але доцільніше після очищення від домішок (PH_3 , H_2S , P і ін.) використовувати у хімічних синтезах.

5.2. Техніка безпеки і охорона праці

Ортофосфорна кислота – агресивна, пожежо- та вибухобезпечна рідина. При роботі застосовувати спецодяг, органи дихання захищати респіраторами. При контакті зі шкірою викликає опіки, запальні захворювання шкіри, при вдиханні – кашель, при попаданні в очі – печіння, при гострому отруєнні – запаморочення, головний біль, блювоту, пронос, утруднене дихання. Нагріта (понад $80^\circ C$) розпорошена або у вигляді пари фосфорна кислота сильно дратує верхні дихальні шляхи. Всі роботи з кислотою повинні проводитися в приміщеннях, обладнаних припливно-вентиляцією. Працюючі повинні бути забезпечені спеціальним одягом (суконний костюм) і взуттям (гумові чоботи), кислотостійкими гумовими рукавицями або рукавичками, засобами захисту органів дихання та очей.

5.3 Вимоги безпеки до організації робочих місць

Організація робочих місць працівників повинна відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам» (ГОСТ 12.2.061-81, IDT), ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования», ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

Обладнання, під час експлуатації якого можливе виділення шкідливих

					<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовин у повітря робочої зони, необхідно обладнати укриттям з місцевим відсмоктуванням.

Пуск місцевого відсмоктування слід заблокувати з пуском технологічного обладнання.

Перед початком роботи роботодавець зобов'язаний організувати контроль параметрів повітря робочої зони на вміст шкідливих речовин відповідно до Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 22 березня 2012 року № 627, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 10 квітня 2012 року за № 521/20834.

Роботодавець зобов'язаний здійснювати контроль рівня шуму на робочих місцях відповідно до вимог ГОСТ 12.1.050-86 «ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах» та ДСТУ 2867-94 «Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги».

Рівень вібрації на робочих місцях повинен відповідати чинним Санітарним нормам та ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».

Освітлення робочих місць повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення», затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 15 травня 2006 року № 168.

Робочі місця забороняється захащувати сторонніми предметами, готовою продукцією та відходами виробництва.

5.4. Вимоги безпеки під час виробництва термічної фосфорної кислоти

Резервуари з фосфором потрібно розташовувати в спеціальному приміщенні (дозаторному відділенні), відокремленому від основного виробничого приміщення вогнетривкою стіною. У виробничому приміщенні дозволяється встановлювати ємності з фосфором місткістю не більше 20 м³.

					<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ємність резервуарів у дозаторних відділеннях цехів, які застосовують фосфор, не повинна перевищувати дводобової потреби виробництва фосфору.

Для запобігання потраплянню фосфорної кислоти в оборотну систему водопостачання слід передбачати контроль водневого показника активності іонів нагрітої води на відповідному колекторі нагрітої води.

При перевищенні регламентованого показника відведення води в оборотну систему необхідно припинити.

Для запобігання потраплянню фосфорного ангідриду в повітря виробничого приміщення у башті спалювання необхідно підтримувати розрідження не більше 49 Па.

У процесі дистиляції фосфорного шламу необхідно постійно контролювати тиск і температуру.

У процесі охолодження для уникнення утворення вакууму в системі дистиляції «куб - конденсатор» необхідно безперервно подавати азот достатній кількості.

У технологічній схемі очищення фосфоровмісних стоків повинно бути передбачено повторне використання їх у виробництві.

					<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури стосовно термічної фосфорної кислоти і сфери її застосування, зокрема в сільському господарстві, хімічній промисловості, медичній практиці, виробництві харчових продуктів, фармацевтичній і косметичній промисловості.

2. Встановлено, що сировиною для промислового виробництва фосфорної кислоти є жовтий фосфор.

3. Проведено аналіз існуючих технологій виробництва ортофосфорної кислоти E338 та обрано технологію для його удосконалення.

4. Удосконалено принципову та апаратурно-технологічну схеми виробництва фосфорної кислоти шляхом заміни плавильного, буферного та витратного баків на реактор з якірною мішалкою. Для покращення зрошення до башти спалювання було додано 4 форсунки, з яких розбризкується 75% фосфорна кислота. Для ергономічності до цеху було додано лінію фасування.

5. Розраховано матеріальний баланс. З 1 т фосфора отримується 3,7 т 85% термічної фосфорної кислоти.

6. Підібрано та розраховано основне обладнання для удосконалення лінії виробництва фосфорної кислоти, проведено розрахунок основного обладнання - башти спалювання.

7. Наведено техніко-економічний розрахунок, який характеризує доцільність запропонованих заходів з удосконалення даного виробництва, що дозволяє отримати прибуток 1145032 грн. Розрахована собівартість фосфорної кислоти на рік, вона становить 295643950 грн., собівартість 1т товарної продукції 30167,75 грн. та рентабельність виробництва – 13,8 %.

8. Запропоновано заходи по контролю якості готової продукції та заходи з техніки безпеки.

10. Наведені заходи для вирішення екологічних питань з охорони навколишнього середовища та екологічні стандарти безпеки.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВИСНОВКИ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Рихальська Є.-І.В.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Фесич І.В.</i>					
<i>Реценз.</i>		<i>Іщенко В.М.</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>			<i>НУХТ. Кафедра ТЖХТ</i>		
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						76	79

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Постников Н.Н. Термическая фосфорная кислота. Химия и технология./ Н.Н. Постников М.: Изд-во «Химия», 1970. – 304 с.
2. Технология фосфорных и комплексных удобрений./ Под ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Бродского М.: «Химия», 1987. – 464 с.
3. Gard D. R. Phosphoric Acids and Phosphates // Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. — 4th. — New York : John Wiley & Sons, 2004.
4. Яхонтова Є.Л. Кислотні методи переробки фосфатної сировини / Є.Л. Яхонтова, І.А. Петропавлівський, В.Ф. Кармишов, І.А. Спірідонова. - М.: Хімія, 1988. - 288с.
5. Регламент Комісії (ЄС) № 1129/2011 від 11 листопада 2011 року Директива 95/2 / ЄС.
6. Kalantar-Zadeh K, et al. Understanding sources of dietary phosphorus in the treatment of patients with chronic kidney disease. CJASN. 2010;5:519–530.
7. Sherman RA, Mehta O. Phosphorus and potassium content of enhanced meat and poultry products: implications for patients who receive dialysis. CJASN. 2009;4:1370–1373.
8. Assessment of one published review on health risks associated with phosphate additives in food. // European Food Safety Authority. – 2013.
9. Волошин М.Д. Технологія неорганічних речовин. Частина 1. Технологія газів. / М.Д. Волошин А.Б. Шестозуб, Я.М. Черненко, Л.О. Зеленська. -Дніпродзержинськ: 2009. – 311 с
10. Торочешников, Н.С. Технический анализ и контроль в производстве неорганических веществ: Учебник / под ред. проф. Торочешникова Н.С. – 2-е издание, перераб. и дополненное. – М.: 1976.–344с.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-15.020.161.ДП.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</i>		
Розроб.	Рихальська Є.-І.В.						
Перевір.	Фесич І.В.						
Реценз.	Іщенко В.М.						
Н. Контр.	Подобій О.В.						
Затверд.	Носенко Т.Т.						
					Літ.	Арк.	Аркуші
						77	79
					НУХТ. Кафедра ТЖХТ		

11. Копилов В.М. Технологія екстракційної фосфорної кислоти / В.М. Копилов. - М.: Хімія, 1981. - 224 с.
12. Прохорова О.М. Велика радянська енциклопедія / під ред. О.М. Прохорова. - М.: Радянська енциклопедія, 1976. - Т. 23
13. ГОСТ 10678-76 «Кислота ортофосфорная термическая. Технические условия»
14. Борисов, Г.С. Пособие по проектированию: Основные процессы и аппараты химической технологии / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский. – М: Химия, 1991. – 496 с.
15. Позин, М. Е. Технология минеральных удобрений / М. Е. Позин. – Л.: Химия, 1983. – С. 210-214.
16. Егоров А. П. Общая химическая технология неорганических веществ / А. П. Егоров, А. И. Шерешевский, И. В. Шманенков. – М: Химия, 1965. – 688 с.
17. Машины и аппараты пищевых производств: учебн. для вузов: В 2 кн. / В. А. Панфилов, С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др. — М.: Высш. шк., 2003. — 703 с.
18. Малезик, І. Ф. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: навч. посіб. / І.Ф. Малезик. – К.: НУХТ, 2012. – 543 с
19. Зайцев, Н. Л. Экономика промышленного предприятия / Н. Л. Зайцев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА, 2002. – 212 с.
20. Тимашева, Б.А. Сборник задач по экономике, организации и планированию производства на предприятиях химической и нефтехимической промышленности / Б. А. Тимашева, Е. Т. Леонов – М.: Химия, 1984. – С. 43-49.
21. Шепеленко, Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии / Г. И. Шепеленко. – М.: Ростов-на-Дону: ИЦ «МарТ», 2003. – 37 с.
22. Экономика предприятия: учеб. для вузов. / И. Э. Берзинь, С. А. Пикунова, Н. Н. Савченко, С. Г. Фалько. – М.: Дрофа, 2003. - 88 с.
23. Клименко, В.Л. Экономика химической промышленности. / В. Л. Клименко. – Л.: Химия, 1990. - 103 с.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія» денної та заочної форм навчання /уклад.: О.Г Макаренко, О.В Подобій, Т.М. Бойчук та ін. – К.: НУХТ, 2020. – 66 с.
25. Методичні рекомендації до складання матеріального та енергетичного балансу в хімічній технології для студентів напряму підготовки 6.051301 "Хімічна технологія" денної форми навчання [Електронний ресурс] / уклад. : О. Г. Макаренко, І. В. Житнецький. - К. : НУХТ, 2015. - 21 с.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		