

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені Володимира Даля**

Факультет

**Інженерії**

(повне найменування факультету)

Кафедра

**Хімічної інженерії та екології**

(повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту

освітнього ступеня

**бакалавр**

(бакалавр, магістр)

спеціальності

**161 Хімічні технології та інженерія**

(шифр і назва спеціальності)

на тему

**Виробництво кальцинованої соди потужністю**

**220 тис. т/рік з розробкою стадії гасіння вапна**

Виконав: здобувач вищої освіти групи

ХТ-17з

Карпова Я. О.

(прізвище, та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник Золотарьова О. В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Завідувач кафедру Суворін О. В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент Суворін О. В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Сєверодонецьк – 2021 р.

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**імені Володимира Даля**

Факультет \_\_\_\_\_ Інженерії \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Хімічної інженерії та екології \_\_\_\_\_

Освітній ступінь \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, магістр)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 161 Хімічні технології та інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою ХІЕ

\_\_\_\_\_ О. В. Суворін

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Карповій Яні Олегівні**

**1. Тема проекту:**

**Виробництво кальцинованої соди потужністю 220 тис. т/рік з розробкою стадії гасіння вапна**

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Золотарьова Олена В'ячеславівна, к.пед.н. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 18.03.2021 р. № 54/15.25

**2. Строк подання студентом проекту – 01 червня 2021 р.**

**3. Вихідні дані до проекту:** літературні, патентні та регламентні дані.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):**

Вступ. 1. Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва. 2. Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції. 3. Опис технологічної схеми. 4. Матеріальні і теплові баланси. 5. Вибір і розрахунок основного апарату. 6. Вибір допоміжного обладнання. 7. Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату. 8. Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища. 9. Охорона праці. Висновки. Анотація. Список використаної літератури. Додатки

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

1. Технологічна схема виробництва (1 аркуш).
2. Креслення гасильника вапна (1 аркуш).
3. Таблиця матеріального балансу (1 аркуш).

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-9	Золотарьова О.В., доцент кафедри ХІЕ		
з нормоконтролю	Золотарьова О.В., доцент кафедри ХІЕ		

7. Дата видачі завдання – 18 березня 2021 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ	27.03.2021	
2	Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва	27.03.2021	
3	Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції	03.04.2021	
4	Опис технологічної схеми	10.04.2021	
5	Матеріальні і теплові баланси	17.04.2021	
6	Вибір і розрахунок основного апарату	24.04.2021	
7	Вибір допоміжного обладнання	08.05.2021	
8	Контроль роботи, норми та правила обслуговування основного апарату	15.05.2021	
9	Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища	15.05.2021	
10	Охорона праці	22.05.2021	
11	Висновки. Анотація. Список використаної літератури	22.05.2021	

12	Креслення технологічної схеми	29.05.2021	
13	Креслення гасильника вапна	29.05.2021	
14	Таблиця матеріального балансу	29.05.2021	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

Я. О. Карпова

Керівник проекту \_\_\_\_\_

О. В. Золотарьова

## ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	8
<i>1 Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва</i>	10
<i>1.1 Вибір та обґрунтування методу виробництва</i>	10
<i>1.2 Фізико-хімічні основи стадії гасіння вапна</i>	13
<i>2 Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції</i>	16
<i>3 Опис технологічної схеми</i>	20
<i>4 Матеріальні і теплові баланси</i>	23
<i>4.1 Розрахунок матеріального балансу стадії гасіння вапна</i>	23
<i>4.2 Розрахунок теплового балансу стадії гасіння вапна</i>	27
<i>5 Вибір і розрахунок основного апарату</i>	31
<i>5.1 Опис конструкції та принцип дії гасильника вапна</i>	31
<i>5.2 Конструктивний розрахунок гасильника вапна</i>	31
<i>5.3 Механічний розрахунок на міцність гасильника вапна</i>	33
<i>6 Вибір основного та допоміжного обладнання</i>	37

6.1	<i>Розрахунок гідроциклону для тонкої очистки вапняного молока</i>	37
6.2	<i>Стисла характеристика технологічного обладнання стадії гасіння вапна</i>	38
7	<i>Контроль роботи, норми та правила обслуговування основного апарату</i>	41
7.1	<i>Правила обслуговування гасильника вапна</i>	41
7.2	<i>Автоматизація стадії гасіння вапна</i>	42
8	<i>Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища</i>	44
9	<i>Охорона праці</i>	48
9.1	<i>Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечність речовин, що застосовано та одержано в проєктованому виробництві</i>	50
9.2	<i>Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на проєктованому виробництві</i>	54
9.3	<i>Заходи запобігання шкідливим і небезпечним виробничим факторам</i>	54
9.3.1	<i>Вентиляція робочих приміщень</i>	54
9.3.2	<i>Освітлення робочих приміщень</i>	56
9.3.3	<i>Заходи електробезпеки</i>	60
9.3.4	<i>Заходи боротьби з шумом та вібрацією</i>	62
9.4	<i>Заходи пожежної безпеки на виробництві</i>	63
	<i>Висновки</i>	66
	<i>Анотація</i>	67
	<i>Список використаної літератури</i>	68

Кальцинована сода є одним з найбільш важливим матеріалів, що використовується людством з давнини. Свого важливого призначення вона не втратила й у теперішній час. За обсягом виробництва кальцинована сода поступається лише виробництву сульфатної кислоти та амоніаку (які використовуються, в основному, в виробництві мінеральних добрив).

Застосування кальцинованої соди в різних секторах промисловості надзвичайно різноманітне. У найбільших кількостях (до 60% світового виробництва) продукт застосовується в якості компонента шихти при виробництві скла: кристалю, оптичного, медичного та електровакуумного скла, склоблоків, піноскла, силікату натрію розчинного.

Сода знаходить широке застосування в чорній і кольоровій металургії: для виробництва свинцю, цинку, вольфраму, стронцію, хрому, для десульфурізації і дефосфації чавуну; в нафтохімічній і нафтопереробній промисловості при виробництві синтетичних жирних кислот; при збагаченні уранових руд [1].

Кальцинована сода є сировиною для одержання каустичної та харчової соди, натрієвих солей (натрієвої селітри, фосфату, фториду та бісульфату натрію, кріоліту), барвників і інших органічних речовин.

Сода кальцинована входить до складу пральних порошків. Широко рекламований засіб "Калгон" – від накипу в пральних машинах – складається із триполіфосфату натрію і соди кальцинованої.

У нафтохімічній і нафтопереробній галузі сода застосовується для очищення нафти та нафтопродуктів від супутній домішок мінерального походження, мінеральної води.

Застосування кальцинованої соди для очищення води, що живить парові котли, сприяє подовженню строку служби котлів і значній економії палива.



Значна кількість кальцинованої соди споживається целюлозно-паперовою промисловістю (при проклеюванні паперу, у виробництві пергаменту, дубителів і головним чином при сульфатній варці целюлози).

В легкій промисловості кальцинована сода застосовується для біління і фарбування тканини, мерсеризації бавовни, одержання штучного шовку, нітроцелюлози. В шкіряній і взуттєвій промисловості, при переробці хутра сода використовується для лужної обробки матеріалів. У харчовій промисловості кальцинована сода використовується в якості емульгатора (харчова добавка E500), регулятора кислотності, розпушувача [2].

Як видно з вищевикладеного, гостра необхідність використання соди в різних галузях народного господарства визначає темпи зростання її виробництва. Це стає можливим тільки лише за умови використання високо механізованих підприємств, працюючих за сучасною технологією з застосуванням новітньої техніки.

## **1 СТИСЛИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД З ОБҐРУНТУВАННЯМ МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА**

### **1.1 Вибір та обґрунтування методу виробництва**

В сучасних умовах соду одержують чотирма способами: на основі природної соди; аміачним (метод Сольве); комплексною переробкою нефелінів; карбонізацією гідроксиду натрію.

На природну соду доводиться понад 1/3 сумарного світового виробництва кальцинованої соди. Природну кальциновану соду одержують із

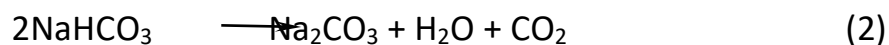
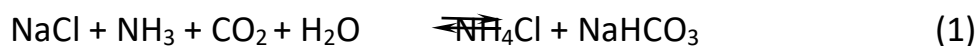
трони, багатої карбонатом натрію, ропою. Кальцинована сода, одержана із природної сировини, має кращу якість (вміст хлоридів менше 0,2 %мас.) і є більш „чистою” в екологічному відношенні у порівнянні з содою, отриманою аміачним способом. Крім того, питомі капітальні вкладення і собівартість соди із природної сировини на 40-45% нижче, ніж отриманої синтетичним шляхом. Відсутність сировинних джерел в Україні робить застосування цього способу виробництва кальцинованої соди неможливим [3].

Комплексна переробка нефеліну дозволяє одержувати глинозем, цемент, соду і поташ. Виробництво є безвідходним. Сода, отримана з нефеліну, має високу насипну щільність, але вона менш чиста, ніж аміачна, оскільки містить деяку кількість сульфату калію. Запаси нефелінових руд в Україні – Мазурівське і Калино-Шевченківське родовища – складають близько 2,9 млрд. т, однак переробка руд цього типу вимагає значних енергозатрат і істотної модернізації технологічного процесу, тому виробництво кальцинованої соди за цим способом не здійснюється.

При електрохімічному виробництві хлору шляхом електролізу водного розчину хлориду натрію одержують гідроксид натрію, який є відходом даного виробництва. У зв'язку з чим виникає питання про переведення надлишку гідроксиду натрію в карбонат натрію. Переведення здійснюється шляхом

карбонізації гідроксиду натрію і наступним розкладанням утвореного гідрокарбонату натрію з одержанням кальцинованої соди. У світі кальциновану соду з гідроксиду натрію одержують у незначних кількостях і доля цього способу становить менше 1 %, оскільки відсутні надлишки гідроксиду натрію [4].

Аміачний спосіб одержання кальцинованої соди полягає в тому, що розчин хлориду натрію (розсіл), насичений аміаком, обробляють вуглекислим газом. При цьому утворюється та випадає в тверду фазу гідрокарбонат натрію. Після відокремлення від розчину і прожарювання осаду гідрокарбонату натрію він розкладається з утворенням карбонату натрію – кальцинованої соди.



Переваги аміачного способу:

- необхідна для здійснення способу сировина – кухонна сіль і карбонат кальцію – є недорогими, широко розповсюдженими і легко видобуваються;
- основні реакції процесу здійснюються при невисоких температурах (до 100°C) і близькому до атмосферного тиску;
- висока якість одержуваного продукту;
- порівняно низька собівартість продукції.

Недоліки аміачного способу:

- низький ступінь використання вихідної сировини;
- великі кількості рідких і твердих відходів, які потребують утилізації, скидання і тривалого зберігання;
- значна витрата енергетичних ресурсів [1].

Розглянувши існуючі способи одержання кальцинованої соди та порівнявши їх недоліки і переваги, враховуючи наявність сировинних джерел, в дипломному проекті вибирається аміачний спосіб виробництва кальцинованої соди, оскільки наявність сировинної бази в Україні (родовища високоякісної карбонатної сировини і кухонної солі, ропи солених озер) дає можливість отримувати продукт високої якості 99,4%мас.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Виробництво кальцинованої соди аміачним способом відрізняється складним замкнутим циклом з великою кількістю стадій.

Виробничий процес одержання соди розпочинається з видобутку та підготовки розсолу. Застосування розсолу замість твердої солі дає значну економічну перевагу, оскільки видобуток розсолу шляхом підземного вилуговування солі водою значно дешевше видобутку твердої солі звичайним шахтним способом.

Розсоли розділяються на природні та штучні. Природний розсіл утворюється в результаті розчинення пласту солі ґрунтовими водами; вміст хлориду натрію в ньому дуже низький. Глибина залягання пластів кухонної солі складає 200-1000 м. вміст хлориду натрію в пластах складає 70-99%.

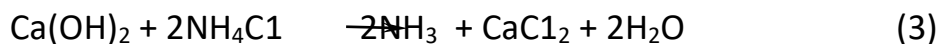
Штучний розсіл готують шляхом закачування води в пласт солі відцентровим насосом і вилучення розсолу через спеціальну свердловину. Найбільш досконалим для одержання розсолу є метод гідроврубів.

Діоксид вуглецю погано розчиняється в воді за відсутності аміаку (реакція 1), тому процес проводять в дві стадії:

1. насичення розчину хлориду натрію аміаком з метою збільшення розчинності діоксиду вуглецю (стадія абсорбції);
2. поглинання діоксиду амонізованим розсолом, який добре розчиняє  $\text{CO}_2$  (стадія карбонізації).

Діоксид вуглецю, що утворюється в результаті розкладання гідрокарбонату натрію (реакція 2), вловлюється та використовується для карбонізації.

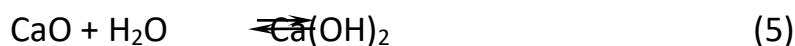
Маточний розчин, що містить, в основному, хлорид амонію, обробляється вапняним молоком з метою регенерації аміаку, котрий знову повертають у виробництво:



Дана реакція відбувається на стадії дистиляції. Утворений аміак відганяється з розчину та направляється на стадію абсорбції. Вапно, що використовується для регенерації аміаку, отримують шляхом випалу вапняку або крейди в вапняно-випалювальних печах при 1100-1200°C. Паливом служить кокс або природний газ. Процес випалу протікає відповідно до реакції:

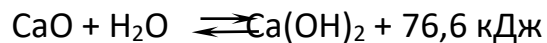


Утворений діоксид вуглецю направляється на карбонізацію амонізованого розсолу, а вапно гаситься водою з метою одержання вапняного молока [5]:



## 1.2 Фізико-хімічні основи стадії гасіння вапна

Процес гасіння вапна полягає у взаємодії оксиду кальцію з водою за реакцію



Дана реакція є екзотермічною і тому супроводжується виділенням значної кількості тепла. Утворений в результаті реакції гідроксид кальцію  $\text{Ca(OH)}_2$  називається гашеним вапном. У виробництві хімічно осадженого карбонату кальцію застосовують суспензію  $\text{Ca(OH)}_2$  в воді, яку називають вапняним молоком.

Концентрація зваженого в воді гідроксиду кальцію в вапняному молоці повинна бути по можливості високою. Максимально можлива концентрація вапняного молока обмежується його в'язкістю: дуже в'язку суспензію складно транспортувати, очищувати від домішок і дозувати. В'язкість суспензії залежить не тільки від концентрації  $\text{Ca(OH)}_2$ , але і від температури. З підвищенням температури в'язкість зменшується. Тому вапняне молоко отримують при високій температурі ( $\sim 95^\circ\text{C}$ ), що забезпечується застосуванням для гасіння гарячої води, а також виділенням тепла в процесі гасіння на випаровування води і тепловипромінювання. Вапняне молоко з температурою  $90-95^\circ\text{C}$  можна отримати, використовуючи для гасіння воду, підігріту до  $60-65^\circ\text{C}$ .

Тривалість гасіння вапна залежить від ряду факторів: температури води, яка подається на гасіння, температури і тривалості випалу сировини в печі, структури сировини і складу домішок, які містяться в ній [4].

Швидкість і повнота гасіння вапна значною мірою залежать від температури води, яка використовується для цієї мети. З підвищенням температури води різко зростає швидкість гасіння вапна.

Чим вища температура випалу вапняку, тим нижча активність одержуваного вапна і тим більше часу потрібно для його гасіння. Крім того,

вапняне молоко, приготовлене з вапна низької активності, надалі погано карбонізується і обумовлює високу лужність готової крейди.

На рис. 1.1 показана залежність швидкості гасіння від температури випалу і від початкової температури води, що подається на гасіння.

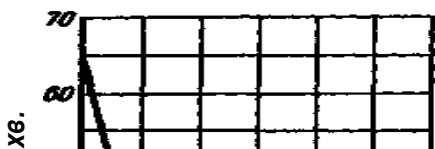
З домішок найбільш сильний вплив на тривалість гасіння вапна чинить сульфат кальцію, при вмісті якого в вапні від 2 до 4%мас. тривалість гасіння збільшується в два рази. Залежність тривалості гасіння вапна від вмісту в ньому  $\text{CaSO}_4$  показана на рис. 1.2.

Досвід експлуатації виробництва показує, що для одержання якісного високодисперсного карбонату кальцію за дисперсністю, щільністю, лужністю вапняне молоко повинне бути високодисперсним, містити порівняно однорідні за розміром частки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

При гасінні вапна водою при температурі  $80^\circ\text{C}$  і вище процес гідратації протікає дуже швидко з утворенням високодисперсного вапняного молока. Таке вапняне молоко погано розшаровується і є гарантією одержання дисперсної і легкої осадженої крейди.

Досвід експлуатації виробництва показує, що для одержання якісного високодисперсного карбонату кальцію за дисперсністю, щільністю, лужністю вапняне молоко повинне бути високодисперсним, містити порівняно однорідні за розміром частки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

При гасінні вапна водою при температурі  $80^\circ\text{C}$  і вище процес гідратації протікає дуже швидко з утворенням високодисперсного вапняного молока. Таке вапняне молоко погано розшаровується і є гарантією одержання дисперсної і легкої осадженої крейди [3].



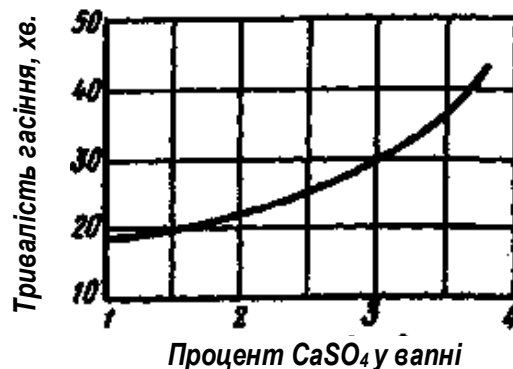


Рисунок 1.2 – Залежність тривалості гасіння вапна від вмісту в ньому CaSO<sub>4</sub>

1 – при температурі випалу 1050°C;

2 – при температурі випалу 1250°C

Рисунок 1.1 – Залежність швидкості гасіння вапна, отриманого при різних температурах, від початкової температури води, що використовується для гасіння

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, НАПІВФАБРИКАТІВ, ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Склад сирого розсолу, що використовується в виробництві кальцинованої соди представлений нижче [2]:

зовнішній вигляд	безбарвний
вміст NaCl, г/л, не менше	310
вміст Ca <sup>2+</sup> і Mg <sup>2+</sup> , г/л, не більше	0,005
вміст SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , г/л, не більше	6
вміст NaOH, г/л	0,05-0,10
вміст Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , г/л	0,38-0,42
загальна лужність, г/л, не більше	0,40
прозорість за хрестом і точками, мм стовпа рідини, не	1200



менше

Для виробництва кальцинованої соди використовується крейда, якість якої відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-109, клас I (табл. 2.1) [6].

Таблиця 2.1 – ДСТУ Б В.2.7-109-2001. Породи карбонатні для виробництва вапна. Технічні умови

Найменування показників	Класи карбонатних порід						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Вуглекислий кальцій ( $\text{CaCO}_3$ ), %мас., не менше	92	86	77	72	52	47	72
Вуглекислий магній ( $\text{MgCO}_3$ ), %мас., не менше	5	6	20	20	45	45	8
<b>Глинисті домішки</b> ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), %мас., не більше	3	8	3	8	3	8	20

Для випалу крейди в якості технологічного палива застосовується природний газ.

Якість природного газу, що застосовується для випалу крейди регламентується ГОСТом 5542-87 (табл. 2.2) [7].

Таблиця 2.2 – ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия

Найменування показника	Норма
1. Теплота згорання нижча, МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> ), при 20°С 101,325 кПа, не менше	31,8 (7600)
2. Область значень числа Воббе (вищого), МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> )	41,2-54,5 (9850-13000)
3. Допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення, %, не більше	+ -5
4. Масова концентрація сірководню, г/м <sup>3</sup> , не більше	0,02
5. Масова концентрація меркаптанової сірки, г/м <sup>3</sup> , не більше	0,036
6. Об'ємна частка кисню, %, не більше	1,0
7. Маса механічних домішок в 1 м <sup>3</sup> , не більше	0,001
8. Інтенсивність запаху газу при об'ємній частці 1% в повітрі, бал, не менше	3

Синтетична аміачна вода повинна відповідати нормам ГОСТ 9-92. Для виробництва кальцинованої соди використовується аміачна вода марки «А», фізико-хімічні показники якої наведені в табл. 2.3 [8].

Таблиця 2.3 – ГОСТ 9-92. Аммиак водный технический. Технические требования

Найменування показника	Норма для марки «А»
Зовнішній вигляд	Прозора безбарвна рідина
Масова частка аміаку, %, не менше	25
Масова частка аміаку, %, в перерахунку на азот	Не нормується
Масова концентрація нелеткого залишку, г/дм <sup>3</sup> , не більше	0,07
Масова концентрація діоксиду вуглецю, г/дм <sup>3</sup> , не більше	Не нормується

Аміак водний представляє собою безбарвну рідину з характерним різким запахом, що сильно переломлює світло. Хімічна формула –  $\text{NH}_3$ . Молекулярна маса аміаку складає 17,03 г/моль. Рідкий аміак є гарним розчинником для багатьох органічних і неорганічних речовин; в ньому також розчиняються водень, азот, метан і аргон. Температура кипіння при 760 мм. рт. ст. – 33,5°C; температура плавлення при 760 мм. рт. ст. – 77,8°C [3].

Вода споживається в основному для охолодження рідин і газів. Порівняно менше її витрачається на технологічні потреби, наприклад, приготування вапняного молока, розсолу і т.д. У содовому виробництві використовується оборотна вода, яку одержують охолодженням вже використаної нагрітої води в спеціальних установках-градирнях, бризкальних басейнах і ін. [1].

Кальцинована сода – карбонат натрію, безводний вуглекислий натрій, хімічна формула –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Молекулярна маса – 105,99 г/моль. Температура плавлення 854°C. Щільність - 2530 кг/м<sup>3</sup>, об'ємна щільність – 0,5-0,55 т/м<sup>3</sup>. Добре розчиняється в воді, з підвищенням температури розчинність зростає. Водні розчини мають сильнолужні властивості. Кальцинована сода здатна поглинати вологу із повітря та  $\text{CO}_2$  і перетворюватися в гідрокарбонат [3].

Сода кальцинована випускається відповідно до ГОСТу 5100-85 [9].

Таблиця 2.4 – ГОСТ 5100-85. Сода кальцинированная техническая. Технические условия

Найменування показника	Норма для марки та сорту					
	А			Б		
	Вищий	Перший	Другий	Вищий	Перший	Другий
1	2	3	4	5	6	7
Зовнішній вигляд	Гранули білого кольору			Порошок білого кольору		
Масова частка вуглекислого натрію, %, не менше	99,4	99,0	98,5	99,4	99,0	99,0
Масова частка вуглекислого натрію в перерахунку на непрожарений продукт, %, не менше	98,7	98,2	97,0	98,9	98,2	97,5

Масова частка втрати при прожарюванні при 270-300° С,%, не більше	0,7	0,8	1,5	0,5	0,8	1,5
Масова частка хлоридів у перерахунку на NaCl,%, не більше	0,2	0,5	0,8	0,4	0,5	0,8
Масова частка заліза у перерахунку на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%, не більше	0,003	0,005	0,008	0,003	0,003	0,008
Масова частка нерозчинних у воді речовин,%, не більше	0,04	0,04	0,08	0,03	0,04	0,08

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
Масова частка сульфатів у перерахунку на Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,%, не більше	0,04	0,05	-	0,04	0,05	-
Гранулометричний склад кальцинованої соди:						
залишок на ситі з сіткою №2К за ГОСТ 6613-86, %, не більше	-	5	5	-	-	-
проходження через сито з сіткою №1, 25К за ГОСТ 6613-86, %, не більше	100	-	-	-	-	-
залишок на ситі з сіткою №1К за ГОСТ 6613-86, %, не більше	3	-	-	-	-	-
проходження через сито з сіткою №01К, 25К за ГОСТ 6613-86, %, не більше	7	15	25	-	-	-
Насипна щільність, г/см <sup>3</sup> , не менше	1,1	0,9	0,9	-	-	-
Магнітні включення розміром більше 0,25 мм	-	-	-	-	-	-

### 3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

Опис технологічної схеми стадії гасіння вапна виробництва кальцинованої соди представлений нижче.

Крейда зі складу вивантажується до бункера (поз. 1), звідки віброживильником (поз. 2) подається на грохот (поз. 3), де відділяється фракція розміром менше 40 мм і відбувається очищення крейди від піску, глини і інших забруднень з малими розмірами часток. Виділена дрібна фракція крейди направляється в бункер відходів (поз. 4). Очищена крейда – велика фракція з розмірами кусків 40÷120 мм – системою транспортерів (поз. 5) і віброживильником (поз. 7) направляється в скіповий підйомник (поз. 8), який завантажує вапняно-випалювальну піч (поз. 9). В якості палива використовується природний газ. Температура випалу складає 1100-1200°C. В процесі випалу крейда розкладається з утворенням вапна і вуглекислого газу.

Вуглекислий газ і продукти випалу палива, які відсмоктуються димососом (поз. 10), проходять через сухий (поз. 11) і мокрий (поз. 14) уловлювачі для очищення від пилу, ресивер (поз. 16), в якому відбувається їх сушіння і далі вони направляються на стадію карбонізації.

Вапно з температурою 60°C вивантажується з печі і подається пластинчастим конвеєром (поз. 17), ковшовим конвеєром (поз. 18) до бункера вапна (поз. 19), звідки віброживильником (поз. 20) направляється в гасильник (поз. 21). До гасильника також подається вода і слабке вапняне молоко. Вода, яка застосовується для гасіння, підігрівається паром до 80°C в збірнику гарячої води (поз. 32). В гасильнику в процесі гасіння вапна утворюється вапняне молоко з домішками різного розміру кусків недопалу, перекалу і часток вапна, що не погасилися. Температура отриманого молока складає 95°C.

Вапняне молоко разом з домішками поступає в сортувальний барабан для крупного недопалу, який є продовженням гасильника та обертається разом з ним. Крупні куски недопалу розміром більше 40 мм в кінці барабану промиваються гарячою водою, поступають на транспортер і передаються в вапняно-випалювальні печі для повторного випалу. Вапняне молоко, проходячи через отвори в барабані, поступає на вібросито (поз. 24), де очищається від дрібних твердих часток розміром більше 2 мм. Потім вапняне молоко відцентровим насосом подається на гідроциклони (поз. 26) для тонкого очищення від домішок. Чисте концентроване вапняне молоко відкачується на стадію дистиляції. В разі потреби вапняне молоко відкачується на гідроциклони (поз. 28) для повторного його очищення від домішок. Слабке вапняне молоко, що виходить із гасильника, очищається в гідроциклоні (поз. 23) і знову подається на гасіння вапна.

Шлам після гідроциклонів (поз. 23, 26, 28) направляється в мішалку шламу (поз. 29), потім в шламонакопичувач (поз. 31), звідки освітлена фаза знову відцентровим насосом подається в мішалку слабого вапняного молока (поз. 22). Вапняна маса з шламонакопичувача відправляється на подальшу переробку на меліорант або будівельне вапно [1].

## **4 МАТЕРІАЛЬНІ І ТЕПЛОВІ БАЛАНСИ**

### **4.1 Розрахунок матеріального балансу стадії гасіння вапна**

Матеріальний розрахунок виконується на 1 т 85%-вого вапна.

Матеріальні розрахунки стадії гасіння вапна проводяться таким чином: спочатку складається матеріальний потік твердих компонентів вапняного молока, а потім складається матеріальний баланс води [10].

Таблиця 4.1 – Склад твердих компонентів вапняного молока

Найменування компоненту	Вапно, %мас.	Крупний недопал, %мас.	Дрібний недопал, % мас.	Шлам після вібрасита, % мас.
CaO + MgO	77,9	7,45	42,7	11,0
Ca(OH) <sub>2</sub>	4,1	–	–	–
CaCO <sub>3</sub>	8,9	72,1	28,6	64,6
Домішки	9,1	17,95	19,9	22,4
H <sub>2</sub> O	–	2,5	8,8	2,0

В перерахунку на стандартне вапно (85%мас. CaO) кількість вапна, що подається на гасіння складає

$$\tilde{m} = \frac{1000 \cdot 85}{77,84} = 1092 \text{ т.}$$

В цій кількості вапна міститься:

$$\text{CaO} + \text{MgO} \quad \frac{1092 \cdot 77,9}{100} = 850,0 \text{ т.};$$

$$\text{CaCO}_3 \quad \frac{1092 \cdot 8,9}{100} = 96,75 \text{ т.};$$

$$\text{Ca(OH)}_2 \quad \frac{1092 \cdot 4,1}{100} = 44,77 \text{ т.};$$

$$\text{домішки} \quad \frac{1092 \cdot 9,1}{100} = 99,37 \text{ т.}.$$

Кількість крупного недопала складає 30-35 кг на одну тунну 85 %-вого вапна. Приймаємо 35 кг.

Склад крупного недопала наступний:

$$\text{CaO} + \text{MgO} \quad \frac{35 \cdot 7,45}{100} = 2,6 \text{ т.};$$



$$\text{CaCO}_3 \quad \frac{35 \cdot 72,1}{100} = 25,23 \text{ т};$$

$$\text{домішки} \quad \frac{35 \cdot 17,95}{100} = 6,28 \text{ т};$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad \frac{35 \cdot 2,5}{100} = 0,87 \text{ т}.$$

Кількість дрібного недопалу складає 5 % від загальної кількості вивантажуваного вапна. Для розрахунку приймаємо 75 кг, кількість його після вібросита – 50 кг.

Склад дрібного недопалу:

$$\text{CaO} + \text{MgO} \quad \frac{75 \cdot 42,7}{100} = 32,02 \text{ т};$$

$$\text{CaCO}_3 \quad \frac{75 \cdot 28,6}{100} = 21,45 \text{ т};$$

$$\text{домішки} \quad \frac{75 \cdot 19,9}{100} = 14,92 \text{ т};$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad \frac{75 \cdot 8,8}{100} = 6,6 \text{ т}.$$

Склад шламу після вібросита:

$$\text{CaO} + \text{MgO} \quad \frac{50 \cdot 11,0}{100} = 5,5 \text{ т};$$

$$\text{CaCO}_3 \quad \frac{50 \cdot 64,6}{100} = 32,3 \text{ т};$$

$$\text{домішки} \quad \frac{50 \cdot 22,4}{100} = 11,2 \text{ т};$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad \frac{50 \cdot 2}{100} = 1,0 \text{ т}.$$

Для визначення кількості слабкого вапняного молока, що подається в гасильник, складається матеріальний баланс кульового млина та мішалки слабкого вапняного молока.

Таблиця 4.2 – Матеріальний баланс кульового млина

Найменування компонентів	Прихід, кг		Витрата, кг
	Дрібний недопал	Вода	Слабке вапняне молоко
CaO + MgO	32,02	–	32,02
CaCO <sub>3</sub>	21,45	–	21,45
Домішки	14,92	–	14,92
H <sub>2</sub> O	6,6	675	681,6
Разом	75	675	750

Таблиця 4.3 – Матеріальний баланс мішалки слабого вапняного молока

Найменування компонентів	Прихід, кг		Витрата, кг
	Дрібний недопал	Вода	Слабке вапняне молоко
CaO + MgO	32,02	5,5	37,52
CaCO <sub>3</sub>	21,45	33,3	54,75
Домішки	14,92	11,2	26,12
H <sub>2</sub> O	681,6	1,0	682,6
Разом	750	50	800

Концентрація слабого вапняного молока приймається рівною 50 н.д., питома маса 1270 кг/м<sup>3</sup>.

Об'єм слабого вапняного молока складає:

$$\frac{37,52}{70} = 0,5 \text{ м}^3 \quad \text{або} \quad \frac{37,52}{70} \cdot 1270 = 681 \text{ л.}$$

Таблиця 4.4 – Матеріальний баланс гасильника вапна

Найменування компонентів	Прихід, кг			Витрата, кг		
	Вапно з печей	Слабке вапняне молоко	Вода	Вапняне молоко	Крупний недопал	Кількість випареної води
CaO + MgO	850,01	37,52	–	887,53	2,6	–
Ca(OH) <sub>2</sub>	44,77	–	–	44,77	–	–
CaCO <sub>3</sub>	96,75	54,75	–	151,5	25,23	–
Домішки	99,37	26,12	–	125,49	6,28	–
H <sub>2</sub> O	–	682,6	1693,02 + x	2340,73	0,87	x
Разом	1092	800	1693,02 + x	3550,02	35	x

Таблиця 4.5 – Матеріальний баланс сортувального барабана дрібного недопалу

Найменування компонентів	Прихід	Витрата	
	Вапняне молоко з гасильника	Вапняне молоко з сортувального барабана	Дрібний недопал
CaO + MgO	887,53	855,51	32,02
Ca(OH) <sub>2</sub>	44,77	44,77	–
CaCO <sub>3</sub>	151,5	130,05	21,45
Домішки	125,49	110,57	14,92
H <sub>2</sub> O	2340,73	2334,13	6,6
Разом	3550,02	3475,02	75

Таблиця 4.6 – Матеріальний баланс вібросита

Найменування компонентів	Прихід	Витрата	
	Вапняне молоко з сортувального барабана	Шлам	Вапняне молоко

CaO + MgO	855,51	5,5	850,01
Ca(OH) <sub>2</sub>	44,77	–	44,77
CaCO <sub>3</sub>	130,05	33,3	96,75
Домішки	110,57	11,2	99,37
H <sub>2</sub> O	2334,13	1,0	2333,13
Разом	3475,02	50	3425,02

Концентрація вапняного молока приймається рівною 248 н.д. з густиною 1312 кг/м<sup>3</sup>.

Вміст CaO + MgO в 1 м<sup>3</sup> вапняного молока:

$$248 \cdot 1,4 = 347,2 \text{ кг/м}^3.$$

Кількість Ca(OH)<sub>2</sub> у вапняному молоці в перерахунку на CaO:

$$\frac{44,77 \cdot 56}{74} = 33,88 \text{ т.}$$

Об'єм вапняного молока:

$$\frac{850,01 + 33,88}{347,2} = 2,55 \text{ м}^3.$$

Годинна потужність виробництва складає

$$\frac{220000 \cdot 1000}{345 \cdot 24} = 26570 \text{ т/год},$$

де 220000 – задана потужність виробництва, т/рік;

345 – ефективний фонд роботи виробництва, доба.

Коефіцієнт перерахунку кількісних величин матеріального балансу, складеного на 1000 кг 85%-вого вапна, на годинну потужність дорівнює

$$\hat{E} = \frac{26570}{3425,02} = 7,8,$$

де 3425,02 – кількість отриманого вапняного молока, кг/т вапна.

Отримане значення коефіцієнту перерахунку перемножуємо на розрахункові дані матеріального балансу, складеного на 1000 кг 85%-вого вапна, та заносимо їх в табл. 4.7.

#### 4.2 Розрахунок теплового балансу стадії гасіння вапна

Вихідні дані [10]:

- |   |        |
|---|--------|
| 1. температура вапна, що поступає на гасіння              | 60 °С; |
| 2. температура води, що подається на гасіння              | 80 °С; |
| 3. температура слабкого вапняного молока                  | 90 °С; |
| 4. температура вапняного молока, що виходить з гасильника | 95 °С; |
| 5. температура крупного недопала                          | 85 °С. |

Таблиця 4.7 – Матеріальний баланс стадії гасіння вапна

Прихід				Витрата			
Стаття	кг	кг/годину	%мас.	Стаття	кг	кг/годину	%мас.
<b>Гасильник вапна</b>							
1. Вапно з печей	1092	8471,3	26,4	1. Вапняне молоко на сортувальний барабан дрібного недопалу	3550,02	27539,8	86,0
2. Слабке вапняне молоко з мішалки слабкого вапняного молока	800	6206,2	19,4	2. Крупний недопал у вапняно-випалювальну піч	35	271,4	0,8
3. Вода	2237,02	17354,0	54,2	3. Випарена волога	544,0	4220,3	13,2
<b>Разом:</b>	<b>4129,02</b>	<b>32031,5</b>	<b>100,0</b>	<b>Разом</b>	<b>4129,02</b>	<b>32031,5</b>	<b>100,0</b>
<b>Сортувальний барабан дрібного недопалу</b>							
1. Вапняне молоко з гасильника вапна	3550,02	27539,8	100,0	1. Вапняне молоко на класифікатор	3475,02	26957,9	97,9
				2. Дрібний недопал на кульовий млин	75	581,9	2,1
<b>Разом:</b>	<b>3550,02</b>	<b>27539,8</b>	<b>100,0</b>	<b>Разом:</b>	<b>3550,02</b>	<b>27539,8</b>	<b>100,0</b>
<b>Вібросито</b>							
1. Вапняне молоко з сортувального барабану дрібного недопалу	3475,02	26957,9	100,0	1. Вапняне молоко	3425,02	26570,0	98,6
				2. Шлам на мішалку слабкого вапняного молока	50	387,9	1,4
<b>Разом:</b>	<b>3475,02</b>	<b>26957,9</b>	<b>100,0</b>	<b>Разом:</b>	<b>3475,02</b>	<b>26957,9</b>	<b>100,0</b>
<b>Кульовий млин</b>							
1. Дрібний недопал з сортувального	75	581,9	10,0	1. Слабке вапняне молоко на мішалку	750	5818,3	100,0

барабану дрібного недопалу				слабкого вапняного молока			
2. Вода	675	5236,4	90,0				
<b>Разом:</b>	<b>750</b>	<b>5818,3</b>	<b>100,0</b>	<b>Разом</b>	<b>750</b>	<b>5818,3</b>	<b>100,0</b>
<b>Мішалка слабкого вапняного молока</b>							
1. Слабке вапняне молоко з кульового млина	750	5818,3	93,8	1. Слабке вапняне молоко в гасильник вапна	800	6206,2	100,0
2. Шлам після класифікатора	50	387,9	6,2				
<b>Разом:</b>	<b>800</b>	<b>6206,2</b>	<b>100,0</b>	<b>Разом:</b>	<b>800</b>	<b>6206,2</b>	<b>100,0</b>
<b>РАЗОМ:</b>	<b>12704,06</b>	<b>98553,7</b>		<b>РАЗОМ:</b>	<b>12704,06</b>	<b>98553,7</b>	

### Прихід тепла

1) З вапном

$$q_1 = 8471,3 \cdot 60 \cdot 0,795 = 404081 \text{ кДж/годину,}$$

де 0,795 – теплоємність вапна кДж/(кг · °С).

2) З водою, що поступає на гасіння:

$$q_2 = 17354,0 \cdot 605 = 10499170 \text{ кДж/годину,}$$

де 605 – ентальпія води при 80 °С, кДж/кг.

3) Зі слабким вапняним молоком

$$q_3 = 6206,2 \cdot 90 \cdot 3,2 = 1787385 \text{ кДж/годину,}$$

де 3,2 – теплоємність слабкого вапняного молока, кДж/(кг · °С).

4) Тепло, що виділяється при гасінні вапна:

$$q_4 = 6630 \cdot 1165 = 7723950 \text{ кДж/годину.}$$

де 6630,0 – вміст CaO + MgO у вапні, кг/годину;

1165 – теплота гасіння вапна, кДж/кг.

Прихід тепла складе:

$$Q_{\text{пр}} = 404081 + 10499170 + 1787385 + 7723950 = 20414586 \text{ кДж/годину.}$$

### Витрата тепла

1) З вапняним молоком:

$$q_5 = 27539,8 \cdot 95 \cdot 3,1 = 8110471 \text{ кДж/годину,}$$

де 3,1 – теплоємність вапняного молока, кДж/(кг · °С).

2) Тепло, що відноситься крупним недопалом:

$$q_6 = 271,4 \cdot 85 \cdot 0,92 = 21161 \text{ кДж/годину.}$$

3) Тепло, що уходить з водяною парою:

$$q_7 = 2671 \cdot 4220,3 = 11272421 \text{ кДж/годину,}$$

де 2671 – ентальпія водяної пари при 95 °С, кДж/(кг · °С).

4) Втрати тепла в навколишнє середовище приймаються – 5 % від приходу тепла:

$$q_8 = 20414586 \cdot 0,05 = 1010533 \text{ кДж/годину.}$$

Витрата тепла складе:

$$Q_{\text{витр}} = 8110471 + 21161 + 11272421 + 1010533 = 20414586 \text{ кДж/годину.}$$

Таблиця 4.8 – Тепловий баланс гасильника вапна

Прихід		Витрата	
Стаття	кДж/годину	Стаття	кДж/годину
З вапном	404081	З вапняним молоком	8110471
З водою в гасильник	10499170	З крупним недопалом	21161
З водою в кульовий млин	1787385	З водяною парою	11272421
Тепло гасіння вапна	7723950	Втрати тепла в навколишнє середовище	1010533
Разом	20414586	Разом	20414586

## 5 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО АПАРАТУ

## 5.1 Опис конструкції та принцип дії гасильника вапна

Для гасіння вапна застосовується обертовий гасильник безперервної дії. Гасильник представляє собою сталевий зварний барабан (поз. 3), який опирається бандажами (поз. 6) на дві пари опорних роликів (поз. 4, 10) і обертається з частотою 3 об/хв. Обертання гасильника здійснюється за допомогою електродвигуна (поз. 9) потужністю 3,5 кВт. Барабан встановлений з ухилом  $0,5^\circ$  у бік виходу вапняного молока. Корпус гасильника захищений зсередини від механічної дії твердих частинок вапняного молока сталевую сорочкою (поз. 7) товщиною 10 мм. Для більш швидкого переміщення вапна та кращого перемішування всередині є гвинтова насадка (поз. 5).

З обох боків гасильник закритий кришками, що мають центральні отвори, через які з одного боку поступає вапно (штуцер В) та гасильна рідина – вода і слабке вапняне молоко (штуцер Е), а з іншого вивантажується міцне вапняне молоко та тверді відходи (штуцери К і Г, Д відповідно).

Сортувальний барабан обладнаний двома витяжними трубами для видалення утвореної в гасильнику пари (штуцер Ж) [3].

## 5.2 Конструктивний розрахунок гасильника вапна

За даними матеріального балансу стадії гасіння вапна (табл. 4.7) витрата вапняного молока з крупним недопалом становить 27811,2 кг/годину або  $21,2 \text{ м}^3/\text{годину}$  (при густині вапняного молока  $1312 \text{ кг/м}^3$ ).



Враховуючи коефіцієнт нерівномірності споживання вапняного молока, що дорівнює 1,2, витрата вапняного молока буде дорівнювати

$$21,2 \cdot 1,2 = 25,4 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

При тривалості гасіння вапна 10 хв. (0,2 години) і коефіцієнті заповнення барабану 80% об'єм вапняного молока, що знаходиться в гасильнику, дорівнює

$$V_6 = 25,4 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 4,1 \text{ м}^3.$$

Співвідношення довжини гасильника до його діаметра [11]:

$$L/D = 6 \quad \text{або} \quad L = 6D \quad (6)$$

$$V_{\acute{a}} = \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot L = 0,785D^2 \cdot L \quad (7)$$

$$V_{\acute{a}} = 0,785D^2 \cdot 6D = 4,71D^3 \quad (8)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_{\acute{a}}}{4,71}} \quad (9)$$

Отже, діаметр барабана гасильника складає

$$D = \sqrt[3]{\frac{4,1}{4,71}} \approx 0,96 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний гасильник діаметром 1 м, тоді його довжина складатиме

$$L = 6 \cdot 1 = 6 \text{ м.}$$

Для одержання вапняного молока приймається гасильник діаметром 1 м і довжиною 6 м.

### 5.3 Механічний розрахунок на міцність гасильника вапна

Міцнісний розрахунок гасильника вапна полягає в визначенні товщини стінки барабану та перевірці його на міцність і згин.

Товщина стінки барабану визначається за формулою [12]:

$$\delta = (0,007 \div 0,01) \cdot D_6, \quad (10)$$

де  $D_6 = 1,0$  – внутрішній діаметр барабану, м.

$$\delta = (0,007 \div 0,01) \cdot 1,0 = 0,007 \div 0,01 \text{ м.}$$

Середнє значення

$$\frac{0,007 + 0,01}{2} = 0,0085 \text{ і } = 8,5 \text{ мк.}$$

Приймаємо  $\delta = 10 \text{ мм.}$

В найбільш простій розрахунковій схемі (рис. 5.1) барабан можна представити у вигляді балки, що вільно лежить на двох опорах і навантажена розподіленим навантаженням  $q$  від ваги барабану  $G_b$  і завантажуваного матеріалу  $G_m$ .

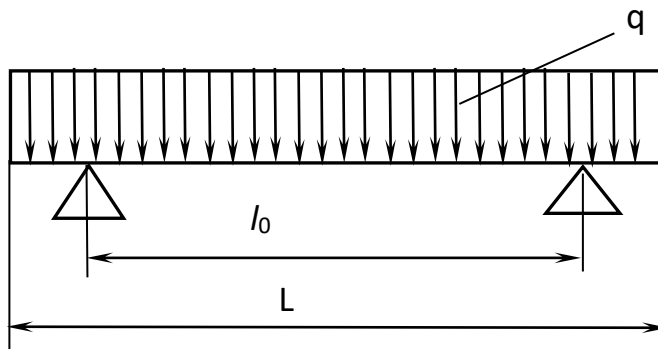


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема

В найбільш небезпечному перетині балки (посередині між опорами) забезпечується мінімальний згинальний момент [12]

$$M = \frac{G_b + G_m}{2} \cdot \frac{l_0}{2} - q \frac{L^2}{8}, \quad (11)$$

де  $l_0$  – відстань між опорами

$$l_0 = 0,585L_6, \quad (12)$$

$$l_0 = 0,585 \cdot 6 = 3,5 \text{ м.}$$

Маса гасильника вапна складає 18 т, тоді вага барабану буде дорівнювати [12]

$$G_6 = m_6 \cdot g, \quad (13)$$

$$G_6 = 18 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 176580 \text{ Н} = 0,177 \text{ МН.}$$

Вага вапна, що знаходиться в гасильнику, визначається за формулою [12]:

$$G_m = 0,785 \cdot D_6^2 \cdot L_6 \cdot \beta \cdot \rho_m \cdot g, \quad (14)$$

де  $\beta = 0,8$  – коефіцієнт заповнення барабану;

$\rho_m = 1100$  – насипана маса вапна,  $\text{кг/м}^3$ .

$$G_i = 0,785 \cdot 1,0^2 \cdot 6,0 \cdot 0,8 \cdot 1100 \cdot 9,81 = 40660 \text{ Ї} \approx 0,041 \text{ Ї}.$$

Рівномірно розподілене навантаження  $q$  розраховується за формулою [12]

$$q = \frac{G_6 + G_m}{L}, \quad (15)$$

$$q = \frac{0,177 + 0,041}{6} = 0,036 \text{ Ї}.$$

$$\dot{I} = \frac{0,177 + 0,041}{2} \cdot \frac{3,5}{2} - 0,036 \cdot \frac{6^2}{8} = 0,029 \text{ Ї} \cdot \dot{i}.$$

Барабану передається також крутильний момент від приводу, необхідний головним чином для підняття центру тяжіння матеріалу на певну висоту. Крутильний момент визначається з рівняння [12]:

$$M_{кр} = \left( \frac{N}{2\pi n} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (16)$$

де  $N = 3,5$  – потужність приводу, кВт;

$n = 3$  – частота обертання, об/хв.

$$\dot{I}_{\text{вд}} = \left( \frac{3,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \right) \cdot 10^{-3} = 0,0002 \text{ Ї} \cdot \dot{i}$$

Розрахунковий момент розраховується за формулою [12]

$$M_p = 0,35M + 0,65\sqrt{M^2 + M_{кр}^2}, \quad (17)$$

$$\delta = 0,35 \cdot 0,029 + 0,65\sqrt{0,029^2 + 0,0002^2} = 0,029 \text{ м}.$$

Момент опору кільцевого перетину барабана визначається з рівняння [12]

$$W = 0,785 \cdot D_6^2 \cdot \delta, \quad (18)$$

$$W = 0,785 \cdot 1,0^2 \cdot 0,01 = 0,008 \text{ м}^3.$$

Умова міцності барабану має вигляд [12]

$$\sigma_{згин.} = \frac{M_p}{W} \leq [\sigma]_{згин.}, \quad (19)$$

$$\sigma_{факт.} = \frac{0,029}{0,008} = 3,6 \text{ МПа} \leq [\sigma_{факт.}]_{доп.} = 134 \text{ МПа},$$

де  $[\sigma_{згин.}]_{доп.} = 134 \text{ МПа}$  – допустиме напруження сталі ВСт.3 при температурі

100 °С.

Умова міцності барабану на згин виконується.

Після перевірки на міцність барабану перевіряють на прогин. Для нормальної роботи допускається прогин  $f$  не більше  $1/3$  мм на 1 м довжини, тобто [12]

$$f \leq f_{\text{доп.}} = 0,0003 l_0 \quad (20)$$

Прогин від рівномірно розподіленого навантаження визначається за формулою [12]

$$f = \frac{5q \cdot l_0^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (21)$$

де  $E = 1,91 \cdot 10^5$  – модуль пружності матеріалу барабану, МПа;

$I$  – осьовий момент інерції для поперечного перетину барабану,  $\text{м}^4$ .

$$I = \frac{\pi \cdot D_{\text{с.д.}}^3 \cdot \delta}{8} \quad (22)$$

$$I = \frac{3,14 \cdot (1,0 - 0,01)^3 \cdot 0,01}{8} = 0,004 \text{ м}^4.$$

$$f = \frac{5 \cdot 0,036 \cdot 3,5^4}{384 \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot 0,004} = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$f = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ м} \leq f_{\text{доп.}} = 0,0003 \cdot 3,5 = 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Умова міцності барабану на прогин виконується.

## 6 ВИБІР ОСНОВНОГО ТА ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 6.1 Розрахунок гідроциклону для тонкої очистки вапняного молока

Згідно матеріального балансу стадії гасіння вапна (табл. 4.7) на гідроциклони (поз. 26) для тонкої очистки надходить вапняне молоко в кількості 26570 кг/годину або 20,4 м<sup>3</sup>/годину (при густині вапняного молока після вібросита 1300 кг/м<sup>3</sup>). З урахуванням витрати вапняного молока на очистку вибирається гідроциклон ГЦК-250 з наступною технічною характеристикою:

діаметр циліндричної частини (D)	250 мм
діаметр штуцера вводу вапняного молока ( $d_{жив}$ )	100 мм
діаметр штуцера виводу очищеного вапняного молока ( $d_{зл}$ )	80 мм
діаметр шламового штуцера ( $d_{шл}$ )	76 мм
висота циліндричної частини ( $H_{ц}$ )	365 мм
кут конусності конусної частини ( $\alpha$ )	20°
тиск на ввіді ( $P_{жив}$ )	0,05-0,25 МПа
об'ємна продуктивність	27-80 м <sup>3</sup> /годину

Продуктивність гідроциклону при вибраних геометричних розмірах визначається за формулою [13]:



$$Q_{\text{вв}} = 9,58 \cdot 10^3 \cdot d_{\text{вв}} \cdot d_{\text{вв}} \sqrt{g \cdot \Delta P}, \quad (23)$$

де  $d_{\text{жив}} = 100$  і  $d_{\text{зл}} = 80$  – діаметри штуцерів для вводу вапняного молока та виводу очищеного вапняного молока, мм;

$\Delta P = 0,1$  – втрати тиску в гідроциклоні, МПа.

$$Q_{\text{вв}} = 9,58 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 0,08 \sqrt{g \cdot 0,1} = 75,9 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Кількість гідроциклонів визначається за виразом [13]:

$$n = \frac{Q}{Q_{\text{вв}}}, \quad (24)$$

де  $Q = 20,4$  – витрата вапняного молока на гідроциклон, м<sup>3</sup>/годину.

$$n = \frac{20,4}{75,9} = 0,3 \text{ шт.} \approx 1 \text{ шт.}$$

Швидкість осадження (гідралічна крупність) розраховується за формулою [13]:

$$\omega_0 = 15,33 \cdot \frac{k \cdot D^3}{a \cdot Q}, \quad (25)$$

де  $D = 0,25$  – діаметр циліндричної частини гідро циклону, м;

$Q = 0,0057$  – секундна витрата вапняного молока на гідроциклон,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

$k = 0,04$  – коефіцієнт, що враховує вплив концентрації домішок і турбулентність потоку;

$a = 0,45$  – коефіцієнт, що враховує затухання тангенціальної швидкості.

$$\omega_0 = 15,33 \cdot \frac{0,04 \cdot 0,25^3}{0,45 \cdot 0,0057} = 3,74 \text{ 1/с} .$$

Витрата шламу розраховується за формулою [13]:

$$Q_{\text{ш}} = 93,17 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{D^{1,45} \cdot d_{\text{ш}}^{0,239} \cdot d_{\text{ш}}^{2,859} \cdot \dot{I}_{\text{ш}}^{0,087}}{d_{\text{ш}}^{2,318} \cdot \alpha^{0,457} \cdot D_{\text{ш}}^{0,315}}, \quad (26)$$

$$Q_{\text{ш}} = 93,17 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{250^{1,45} \cdot 100^{0,239} \cdot 76^{2,859} \cdot 365^{0,087}}{80^{2,318} \cdot 20^{0,457} \cdot 0,1^{0,315}} = 0,7 \text{ 1}^3/\text{с}.$$

## 6.2 Стисла характеристика технологічного обладнання

## стадії гасіння вапна

В табл. 6.1 наведена стисла характеристика технологічного обладнання стадії гасіння вапна [1, 3].

Таблиця 6.1 – Перелік технологічного обладнання стадії гасіння вапна

Позначення апарата	Найменування обладнання	Призначення і коротка характеристика	Матеріал
1	2	3	4
поз. 22	Мішалка слабого вапняного молока	Призначена для зберігання деякого запасу, а також для вирівнювання коливань концентрації вапняного молока. Представляє собою вертикальний ємкісний апарат, що постачається рамною мішалкою. $D = 1500$ мм, $H = 2280$ мм, $V = 5$ м <sup>3</sup> , частота обертання – 45 об/хв., $N = 5,5$ кВт	Вуглецева сталь Ст. 3
поз. 24	Вібраційне сито	Призначене для очищення вапняного молока від твердих часток. Представляє собою раму, на яку натягнута решітка з нержавіючої проволочки. Розмір отворів решітки – 0,3 мм; габаритні розміри: довжина – 1770 мм, ширина – 1128 мм, висота – 1500 мм. Продуктивність 30 м <sup>3</sup> /годину	Сталь 12X18H10T
поз. 25	Мішалка брудного вапняного молока	Призначена для зберігання вапняного молока, а також попередження його розшаровування. Представляє собою вертикальний ємкісний апарат, що постачається рамною мішалкою. $D = 2400$ мм, $H = 3615$ мм, $V = 16$ м <sup>3</sup> , частота обертання – 45 об/хв., $N = 5,5$ кВт	Сталь 12X18H10T
поз. 27	Мішалка міцного вапняного молока		
поз.23, 26, 28	Гідроциклон	Призначений для тонкої очистки вапняного молока. $D = 250$ мм, $H = 365$ мм, $Q = 27-80$ м <sup>3</sup> /годину	Сталь 12X18H10T
поз. 29	Мішалка шламу	Призначена для тимчасового зберігання вапняного шламу. Представляє собою вертикальний ємкісний апарат, що постачається рамною мішалкою. $D = 1600$ мм, $H = 1560$ мм, $V = 3,2$ м <sup>3</sup> , частота обертання – 32 об/хв., $N = 15$ кВт	Сталь 12X18H10T
поз. 30	Кульовий млин	Призначений для помелу дрібного недопалу і перепалу. Внутрішній діаметр – 1800 мм, довжина – 3000 мм. Частота обертання 26 об/хв. Розмір часток готового продукту 0,25 мм. Продуктивність 10 т/добу	Сталь 12X18H10T

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4
поз. 31	Шламо-накопичувач	Призначена для накопичування вапняного шламу. Представляє собою вертикальний ємкісний апарат, що постачається рамною мішалкою. $D = 3000$ мм, $H = 450$ мм, $V = 32$ м <sup>3</sup> , частота обертання – 50 об/хв., $N = 20,5$ кВт	Сталь 12Х18Н10Т
поз. 33	Бак гарячої води	Призначений для зберігання гарячої води. $D = 1200$ мм, $H = 3000$ мм, $V = 3$ м <sup>3</sup>	Вуглецева сталь Ст. 3

## 7 КОНТРОЛЬ РОБОТИ, НОРМИ ТА ПРАВИЛА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОСНОВНОГО АПАРАТУ

### 7.1 Правила обслуговування гасильника вапна

Апаратник гасіння вапна контролює стан основного та допоміжного обладнання, здійснює його пуск і зупинку, управляє процесом завантаження і вивантаження вапна; спостерігає за процесом гасіння вапна і регулює його.

Перед початком роботи апаратник перевіряє справність агрегату та рухомих частин механізмів, відсутність в них сторонніх предметів; стан змащувальних пристроїв і наявність в них мастила; справність огорожень, запобіжних пристроїв; справність сигналізації, заземлень і пускових електроприладів; знайомиться із записами про стан обладнання та технологічний процес в черговому журналі.

Перед пуском гасильника перевіряється кріплення кришок люків і справність контрольно-вимірювальних приладів. Після цього апаратник дає попереджувальний сигнал і шляхом натискання пускових кнопок запускає приводні електродвигуни апарату, а потім дозуючих механізмів.

Перед зупинкою гасильника апаратник зупиняє дозуючий пристрій і тільки після повного виходу продукту зупиняє агрегат. Зупинений агрегат оглядається і за манометром перевіряється повна відсутність тиску в апараті. Після цього відкривається люк і апаратник очищає внутрішню частину апарату від бруду і нашарувань.

Процес гасіння апаратник контролює за показниками приладів тиску та за якістю вапняного молока. З цією метою він періодично відбирає середню пробу вапняного молока і здає її на аналіз в лабораторію

Основною вимогою до процесу приготування вапняної суспензії є максимальна концентрація гідроксиду кальцію. Але для забезпечення безперешкодного транспортування вапняного молока по апаратам і

комунікаціям стадії гасіння, а також для зручності дозування її на стадію дистиляції обмежується гранична концентрація суспензії. Концентрацію  $\text{CaO}_{\text{акт}}$ , тобто титр вапняної суспензії, визначають титруванням хлоридною кислотою в присутності фенолфталеїну через кожні 30 хвилин в цеховій лабораторії.

Пуск стадії гасіння проводиться відповідно до інструкції апаратника гасіння вапна.

Включення обладнання в роботу проводиться в такому порядку:

- наповнити бак гарячої води на  $3/4$  його об'єму;
- відкрити вентиль на лінії подачі води в гасильник, набрати води до переливу її через закраїну, після чого почати подавати вапно в апарат;
- відрегулювати процес розкладання оксиду кальцію в апараті до заданої концентрації  $\text{CaO}$  в розчині в межах 150 г/л.

До надходження вапняного молока до вібростата його необхідно включити в роботу.

У міру надходження вапняного молока в мішалки вапняного молока їх необхідно включити в роботу.

За вказівкою старшого майстра зміни включаються в роботу циркуляційні насоси для циркуляції і подачі вапняного молока на стадію дистиляції.

Циклонування вапняного молока проводиться після кожного наповнення мішалки вапняного молока.

У міру наповнення мішалки шламом останній відкачується насосом в шламонакопичувач.

Роботи по включенню і виключенню апаратів (їх електродвигунів) проводиться в діелектричних рукавичках [1].

## **7.2 Автоматизація стадії гасіння вапна**

Автоматизація стадії гасіння вапна включає контроль наступних технологічних параметрів.

1. Вимірювання температури води та вапняного молока. Вимірювання здійснюється за допомогою мідних термометрів опору. Принцип вимірювання полягає у вимірюванні опору провідника при нагріванні. Вторинним приладом є уніфікований прилад РП-160.

2. Вимірювання витрати води на гасіння, вапняного молока. В основу вимірювання покладений метод змінного перепаду тиску, який полягає в тому, що у трубопроводі, по якому протікає рідина, встановлюється стандартний звужуючий пристрій – діафрагма. В залежності від витрати рідини, на діафрагмі створюється перепад тисків, що є мірою витрати рідини. Для вимірювання перепаду тиску застосовується дифманометр ДМТ-3583М і вторинні прилади РП-160.

3. Вимірювання рівня в мішалках вапняного молока здійснюється гідростатичним методом шляхом вимірювання тиску стовпа рідини, що знаходиться в ємності. Для цього використовуються ті ж прилади, що й для вимірювання витрати, дифманометри ДМТ-3583М з вторинними приладами РП-160, що сприяє уніфікації застосовуваних систем вимірювання.

4. Вимірювання густини вапняного молока здійснюється радіоізотопним щільноміром ПР-1025, чутливий елемент якого сприймає  $\gamma$ -промені, які протинають трубопровід з вапняним молоком. В залежності від щільності вапняного молока здійснюється послаблення потоку  $\gamma$ -промінів в більшому або меншому ступені, що й фіксується вторинним приладом, як міра зміни щільності.

5. Вимірювання витрати вапна, що поступає у гасильник, здійснюється шляхом зважування вапна, яке знаходиться на стрічці вагового транспортера – дозатора 4273ДН32.

Схемою автоматизації передбачається автоматичне регулювання співвідношення «вапно-вода». Ця САР є складною системою регулювання [14].

## **8 РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

З технологічного циклу виробництва кальцинованої соди аміачним способом виводяться дистилерна суспензія, тверді шлами після стадії розсолоочищення, газоподібні речовини. Дистилерна рідина і шлами переробляються в продукти, корисні для господарської діяльності людини. У зв'язку з цим вони розглядаються не як відходи содового виробництва, а як вторинні матеріальні ресурси (ВМР).

При виробництві кожної тонни кальцинованої соди одержують близько 8 м<sup>3</sup> дистилерної рідини. Дистилерна рідина представляє собою розчин CaCl<sub>2</sub> і NaCl, забруднений домішками CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, які знаходяться переважно в твердій фазі. В рідкій фазі дистилерної рідини міститься 10-10,5%(мас.) CaCl<sub>2</sub> і 5%(мас.) NaCl.

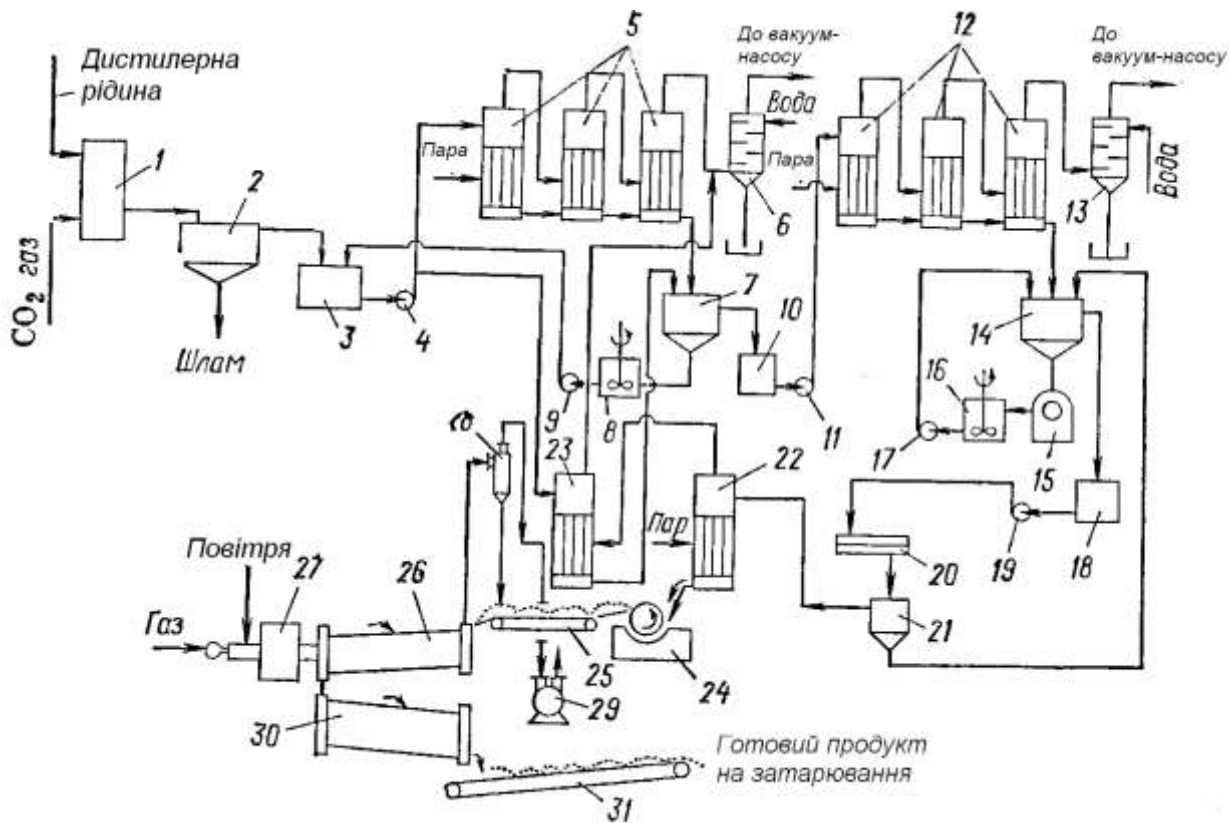
Переробка освітленої дистилерної рідини дає можливість одержувати хлорид кальцію з одночасним виділенням хлориду натрію. Хлорид кальцію згідно ГОСТ 450-70 випускається у вигляді рідкого продукту (I-й сорт – 38%(мас.) CaCl<sub>2</sub> і II-й сорт – 32%(мас.) CaCl<sub>2</sub>) або твердого плавленого продукту (76%(мас.) CaCl<sub>2</sub>).



Основними споживачами хлориду кальцію є сільське господарство (меліорація солончакових ґрунтів), виробництво в'язучих матеріалів, фармацевтична і текстильна промисловості та ін. [3].

Технологічна схема виробництва хлориду кальцію представлена на рис. 8.1.

Дистилерна рідина проходить попередню карбонізацію в карбонаторі (поз.1), після чого направляється на відстоювання в відстійник (поз. 2). Шлам (тверда фаза) з відстійника направляють на подальшу переробку



1 – карбонатор; 2, 7, 14, 21 – відстійники; 3, 8, 18 – ємності;

4, 9, 11, 17, 19 – насоси; 5, 12 – випарні установки; 6, 13 – конденсатори змішання; 10 – бак; 15 – центрифуга; 16 – збірник фугата;

20 вакуум-кристалізатор; 22 – апарат плаву; 23 – утилізатор; 24 – апарат для утворення лусочок; 25, 31 – транспортери; 26 – апарат прожарювання;

27 – топка; 28 – циклон; 29 – вентилятор; 30 – барабан для охолодження

Рисунок 8.1 – Схема виробництва хлориду кальцію

у виробництво вапняного меліоранту і кормових добавок, а освітлений розчин зливають в ємність (поз. 3). Сюди додають затравку  $\text{CaSO}_4$  для запобігання інкрустування тепло передаючих поверхонь випарної батареї.

Освітлена дистилерна рідина з затравкою з ємності (поз. 3) насосом (поз. 4) подається в трикорпусну прямооточну випарну батарею (поз. 5), де рідина випарюється до вмісту 18%мас.  $\text{CaCl}_2$ . З останнього корпусу випарної установки суспензія зливається у відстійник (поз. 7). Згущену суспензію, яка

була затравкою, через ємність з мішалкою (поз. 8) насосом (поз. 9) повертають в ємність (поз. 3) для подальшого використання за-травички.

Частково упарена і освітлена від затравки дистилерна рідина з бака (поз. 10) насосом (поз. 11) направляється на другу випарну трикорпусну прямоточну установку (поз. 12). Тут дистилерна рідина концентрується до 38%(мас.) за хлоридом кальцію і виділяється основна маса хлориду натрію. Останні корпуси випарних установок (поз. 5, 12) працюють під вакуумом. Вторинна пара з останніх корпусів направляється в конденсатори змішання (поз. 6, 13). Повітря та несконденсована пара з конденсаторів відсмоктується вакуум-насосами (на схемі не показані). Конденсат, що утворився в випарних установках, направляється на розсолотромисел, що дозволяє відповідно зменшити витрату чистої води.

Суспензія хлориду натрію в 38%-вому розчині хлориду кальцію зливається у відстійник (поз. 14). Згущена частина з відстійника далі надходить на центрифугу (поз. 15), звідки твердий хлорид натрію направляється споживачам або повертається у виробництво соди. Фугат через збірник фугата (поз. 16) насосом (поз. 17) повертається у відстійник (поз. 14). Освітлений 38%-вий розчин хлориду кальцію зливається в ємність (поз. 18), а потім насосом (поз. 19) подається на всмоктувальну лінію циркуляційного насоса вакуум-кристалізаційної установки. У вакуум-кристалізаторі (поз. 20) відбувається подальше концентрування розчину до вмісту 40%(мас.)  $\text{CaCl}_2$ , причому в тверду фазу виділяється додаткова кількість хлориду натрію. Суспензія хлориду натрію в 40%-вому розчині хлориду кальцію з вакуум-кристалізатора направляється у відстійник солі (поз. 21); згущена соляна пульпа далі надходить у відстійник (поз. 14).

Освітлений 40%-вий розчин хлориду кальцію подається в випарний апарат (поз. 22), де розчин упарюють до стану плову (72%(мас.)  $\text{CaCl}_2$ ). Вторинна пара апарату (поз. 22) використовується для обігріву апарату утилізатора (поз.

23), що працює паралельно випарній установці (поз. 5). Плав хлориду кальцію надходить в корито апарату для отримання лусочок (поз. 24), а в барабан апарату подається охолоджуюча вода. «Сира» лусочка зрізується з барабана ножом і за допомогою транспортера (поз. 25) направляється в апарат для прожарювання (поз. 26). Сушка лусочки проводиться топковим газами. Топкові гази після барабана, пройшовши циклон (поз. 28), вентилятором (поз. 29) викидаються в атмосферу. Гаряча прожарена лусочка з вмістом основної речовини 78%(мас.)  $\text{CaCl}_2$  пересипається в барабан для охолодження, стінки якого охолоджуються водооборотною водою. Готові охолоджені лусочки транспортером (поз. 31) відправляють на затарювання і потім на склад готової продукції,

Шлами розсолоочищення містять: рідку фазу ( $\text{NaCl}$ ) – 99,0 кг/т соди та тверду фазу ( $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) – 27,1 кг/т соди і 3,9 кг/т соди відповідно. У виробництві кальцинованої соди передбачається фільтрація шламу розсолоочищення, що дає можливість повернути в виробництво соди порядку 80 кг/т соди  $\text{NaCl}$ , а отримана паста після сушки і розпушування буде упаковуватися в мішки та продаватися в якості підкормки для тварин і птахів.

Оскільки газові викиди виробництва кальцинованої соди містять речовини в межах гранично допустимих норм, то їх виводять в атмосферу [4].

## **9 ОХОРОНА ПРАЦІ**

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя та здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;

- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень у галузі науки і техніки та охорони довкілля;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;
- адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;
- використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;
- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між

усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;

- використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва.

Основним нормативно-правовим актом, що регулює відносини у сфері охорони праці, є Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р. № 2694-XII, який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Охорона праці має соціальні, економічне та правове значення. Соціальне значення охорони праці полягає в тому, що вона сприяє зміцненню (збереженню) здоров'я працівників від шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Економічне значення реалізується у зростанні продуктивності праці, піднятті економіки та збільшенні виробництва. Правове значення охорони праці полягає в правовому регулюванні роботи з урахуванням важкості умов праці, фізіологічних особливостей жіночого організму, організму неповнолітніх і стану працездатності інвалідів тощо. Крім того, питання охорони праці є об'єктом організаційно-управлінських відносин трудового колективу (відповідного профспілкового органу) з роботодавцем, а також соціально-партнерських відносин на національному, галузевому та регіональному рівнях [15].

## **9.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечність речовин, що застосовано та одержано в проектованому виробництві**

Основні фізико-хімічні властивості та характеристика токсичності хімічних речовин, які використовуються та одержують в проектованому виробництві кальцинованої соди представлені в табл. 9.1, 9.3 [16].

В табл. 9.2 наведені характеристики пожежебезпеки використуваних та одержуваних речовин [17].

Таблиця 9.1 – Основні фізико-хімічні властивості речовин

Назва речовини		Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан	Температура плавлення, °C	Температура кипіння, °C
Раціональна номенклатура	Систематична номенклатура					
1	2	3	4	5	6	7
Натрій хлорид	Хлорид натрію	NaCl	Na – Cl	Рідина	–	110
Кальцій карбонат	Карбонат кальцію	CaCO <sub>3</sub>	$  \begin{array}{c}  \text{O} \\     \\  \text{O}-\text{C}-\text{O} \\  \backslash \ / \\  \text{Ca}  \end{array}  $	Тверда речовина	825 (кальцит)  1339 (арагоніт)	–
Амоній гідроксид	Аміак водний	NH <sub>4</sub> OH	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{H}-\text{N}-\text{O}-\text{H} \\    \\  \text{H}  \end{array}  $	Рідина	–91,5	24,7-37,7
Природний газ	Метан	CH <sub>4</sub>	H	Газ	–182,5	–161,6

			$\begin{array}{c}   \\ \text{H} - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$			
Кальцій оксид	Оксид кальцію	CaO	Ca=O	Тверда речовина	2570	2850
Карбон (IV) оксид	Оксид вуглецю (IV)	CO <sub>2</sub>	O=C=O	Газ	–	–
Кальцій гідроксид	Гідроксид кальцію	Ca(OH) <sub>2</sub>	$\begin{array}{c} \text{H} - \text{O} - \text{Ca} \\   \\ \text{O} - \text{H} \end{array}$	Рідина	–	–

Продовження табл. 9.1

1	2	3	4	5	6	7
Динатрій карбонат	Карбонат натрію	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{Na} - \text{O} - \text{C} - \text{O} - \text{Na} \end{array}$	Тверда речовина	854	1600

Таблиця 9.2 – Показники вибухо- і пожеженебезпечності

Речовина	Температура спалаху	Температура самозапалення	Межі розповсюдження полум'я концентраційні		Межі спалахування температурні, °C
			г/м <sup>3</sup>	% об.	



	°C	°C	нижня	верхня	нижня	верхня	нижня	верхня
Аміак	–	650	112	189	15	28	17	28
Метан	87,8	537,8	16,6	102,6	5,28	14,1	5	15,0

Таблиця 9.3 – Характеристики застосовуваних і одержаних речовин

Речовина	Клас шкідливості	Характер дії на організм людини	Граничнодопустима концентрація				Засоби індивідуального захисту
			у повітрі, мг/м <sup>3</sup>			у воді, мг/л	
			робочої зони	населеного пункту			
				C <sub>мр</sub> *	C <sub>сд</sub> **		
1	2	3	4	5	6	7	8
Карбонат кальцію	4	При потраплянні в очі: викликає подразнення. При вдиханні: кашель.	6	–	–	–	Респіратор «Пелюстка-200», «Кама», У-2К. Бавовняний костюм або комбінезон, берет, захисні окуляри, гумові рукавички, шкіряні чоботи

Продовження табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Хлорид натрію	3	<p>При потраплянні в очі: різь, сльозотеча, почервоніння слизуватих оболонок.</p> <p>При потраплянні на шкірі: сухість, лущення, почервоніння, подразнення.</p> <p>При ковтанні: нудота, блювота, діарея</p>	5 аерозоль	-	-	-	<p>Респіратор «Айстра-2».</p> <p>Бавовняний костюм або комбінезон, берет, захисні окуляри, гумові рукавички, гумові чоботи, фартух з гумованої тканини</p>
Аміак водний	4	<p>При потраплянні в очі: опіки, біль, сльозотеча, кон'юнктивіт, можлива зміна роговиці, втрата зору.</p> <p>При потраплянні на шкіру: сильний біль, почервоніння, при тривалому впливі – утворення пухирців.</p> <p>При ковтанні: опік порожнини рота, набряк язик і глотки, головний біль, біль у животі, нудота, блювота, іноді з домішкою крові.</p> <p>При вдиханні: збудження, що змінюється на млявість, сльозотеча, ускладнене дихання, чхання, першіння в горлі, м'язовий біль, біль у шлунку</p>	20	-	-	0,05-2,9	<p>Фільтручий протигаз марки «КД», «М».</p> <p>Костюм з прогумованої тканини, гумові печатки, захисні окуляри</p>

Природний газ	4	Не чинить токсикологічної дії на організм людини, але при концентраціях, що знижують вміст кисню в атмосфері до 15-16%об, викликає задуху.	300	–	–	–	Бавовняний костюм або комбінезон, берет, захисні окуляри, гумові рукавички, шкіряні чоботи
---------------	---	--	-----	---	---	---	--

Продовження табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Оксид кальцію	2	При потраплянні в очі: сильна сльозотеча, набряк повік, почервоніння кон'юнктиви, подразнення радужної оболонки ока. При вдиханні: кашель, нежить, біль у горлі; порушення ритму диханні. При потраплянні на шкіру: почервоніння, набряк; на мокру шкіру – можливі опіки	1	–	–	–	Респіратор «Пелюстка-200», «Кама», У-2К. Бавовняний костюм або комбінезон, берет, захисні окуляри, гумові рукавички, шкіряні чоботи
Оксид вуглецю (IV)	4	Не токсичний. Небезпечний лише в дуже великих кількостях (чинить задушливу дію)	9000	–	–	–	Бавовняний костюм або комбінезон, берет, шкіряні чоботи

Гідроксид кальцію	3	<p>При потраплянні на шкіру: почервоніння, свербіння, опіки.</p> <p>При потраплянні в очі: сльозотеча, біль, помутніння роговиці ока, порушення зору.</p> <p>При ковтанні: першіння в горлі, кашель, чхання, опіки слизуватих оболонок, бронхів.</p>	2,0	–	–	–	Бавовняний костюм або комбінезон, берет, захисні окуляри, гумові рукавички, шкіряні чоботи
Карбонат натрію	3	<p>При ковтанні: нудота.</p> <p>При потраплянні в очі: викликає подразнення.</p> <p>При вдиханні: кашель</p>	2	–	–	–	Респіратор «Пелюстка-200», «Кама», У-2К. Бавовняний костюм або комбінезон, берет, захисні окуляри, гумові рукавички, шкіряні чоботи

## 9.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на проектованому виробництві

Для виробництва кальцинованої соди характерні наступні небезпеки:

- застосування токсичних, вибухонебезпечних і пожежонебезпечних речовин (характеристики речовин наведені в табл. 9.1 – 9.3);
- застосування вакууму на стадіях дистиляції та фільтрації;
- наявність корозійно-небезпечного середовища (насичений розчин хлориду амонію, аміачна вода, вапняне молоко);

- наявність високих температур (вапняно-випалювальні печі, кальцинатори);
- застосування електричної енергії;
- застосування підйомно-транспортного обладнання, а також обладнання з рухомими і обертовими частинами (мостовий кран, кран-балка, приводи мішалок, конвеєрів).

### **9.3 Заходи запобігання шкідливим і небезпечним виробничим факторам**

#### **9.3.1 Вентиляція виробничих приміщень**

Для створення нормальних умов виробничої діяльності необхідно забезпечувати не лише комфортні метеорологічні умови, а й необхідну чистоту повітря. Адже внаслідок виробничої діяльності у повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Одним з ефективних засобів нормалізації повітря у приміщенні є вентиляція.

Вентиляція – повітрообмін, завдяки якому забруднене повітря виводиться з приміщення, а замість нього вводиться свіже зовнішнє або очищене повітря. Під вентиляцією виробничих приміщень розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – створити оптимальний мікроклімат у приміщенні за температурою, швидкості руху повітря, його вологості, хімічній і мікробній чистоті, запиленості, що сприяє збереженню і зміцненню здоров'я і підвищенню працездатності людини. Гігієнічні вимоги до вентиляції зводяться

до її достатності для конкретного приміщення, постійності протягом доби і рівномірності для всього приміщення.

Вентиляція класифікується за такими ознаками:

- за способом переміщення повітря (природна (організована та неорганізована), штучна (механічна) і суміщена (природна та штучна одночасно));
- за напрямком потоку повітря (припливна, витяжна, припливно-витяжна);
- за місцем дії (загальнообмінна, місцева, комбінована);
- за призначенням (робоча, аварійна) [18].

Організована природна вентиляція називається аерацією. Для аерації в стінах будівлі роблять отвори для надходження зовнішнього повітря, а на даху чи у верхній частині будівлі встановлюють спеціальні пристрої (ліхтарі) для видалення відпрацьованого повітря.

Неорганізована природна вентиляція включає інфільтрацію – просочування повітря через нещільності у вікнах, дверях, перекриттях тощо та провітрювання, що здійснюється при відкриванні вікон та кватирок.

Припливна вентиляція передбачає подачу чистого повітря ззовні у приміщення. При витяжній вентиляції повітря вилучається з приміщення, а зовнішнє надходить через вікна, двері, нещільності будівельних конструкцій. Припливно-витяжна вентиляція поєднує першу і другу.

Загальнообмінна вентиляція підтримує нормальне повітряне середовище у всьому об'ємі робочої зони виробничого приміщення. За допомогою місцевої вентиляції шкідливі виділення вилучаються або розчиняються шляхом надходження чистого повітря безпосередньо у місцях їх утворення. Комбінована вентиляція поєднує загальнообмінну і місцеву.

Аварійну вентиляцію влаштовують у тих виробничих приміщеннях, в яких можуть статися аварії з виділенням значної кількості шкідливостей, а також коли при виході з ладу робочої вентиляції в повітрі можуть утворюватись небезпечні для життя працівників або вибухонебезпечні концентрації шкідливих речовин.

Основним завданням розрахунку вентиляційних систем є визначення кількості повітря ( $\text{м}^3/\text{годину}$ ), необхідного для його надходження або вилучення з приміщення.

Повітрообмін визначають розрахунковим шляхом за конкретними даними про кількість шкідливих виділень (теплоти, вологи, пари, газу, пилу).

Системи вентиляції мають бути пожежо- й вибухобезпечними, простими в облаштуванні, не переохолоджувати приміщення, не створювати надмірного шуму, бути надійними в експлуатації, економними. Крім паспорта на кожну вентиляційну установку складають журнал експлуатації, з внесенням технічних характеристик вентиляційної установки. Усі вентиляційні пристрої (установки) підлягають планово-попереджувальному огляду і ремонту, а також періодичному технічному випробуванню відповідно до затверджених графіків.

Розрахунки повітрообміну для проектування вентиляційних систем та систематичний контроль за ефективною роботою вентиляційних установок (підчас їх експлуатації) мають на меті забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану у робочій зоні виробничого приміщення та попередження виникнення професійних захворювань серед працівників [19].

### **9.3.2 Освітлення виробничих приміщень**

Для нормальної зорової роботи необхідно створити такі умови, щоб не виникали професійні захворювання або виробничий травматизм. Освітлення має відповідати встановленим нормативам та характеру зорової виробничої діяльності:

- забезпечувати достатню рівнозміність та постійність освітлення, відсутність умов переадаптації органів зору;
- не створювати сліпучої дії від джерела світла та предметів, що знаходяться в полі зору;
- не створювати на робочих поверхнях різких та глибоких тіней, бути рівномірним на площині, що освітлюється.

Нераціональне освітлення приміщень призводить до зорового дискомфорту, знижує розумову й фізичну працездатність, посилює зорову втому, сприяє розвитку ряду захворювань.

Невідповідне освітлення призводить до професійного захворювання – ністагми, ознаками якої є судорожний рух яблука ока, трясіння головою, і різке падіння видимості при заході сонця. Хворий бачить світло нерухомої лампи стрибаючим. Причиною ністагму є часта зміна світла і тіней при слабкому штучному освітленні. Зниження зорової функції веде до виникнення катаракти, короткозорості та ін. Надмірно яскраве освітлення також погано позначається на зоровій функції організму.

Освітлення виробничих приміщень може бути природним, штучним та інтегральним, коли не достатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Штучне освітлення буває: загальним, місцевим і комбінованим.

За функціональним призначенням штучне освітлення буває робочим, аварійним, евакуаційним та охоронним.



Аварійне освітлення проектується на випадок виходу з ладу робочого освітлення. Аварійне освітлення буває двох видів: для продовження роботи; для безпечної евакуації людей. Аварійне освітлення для продовження роботи проектується у тому випадку, коли вихід з ладу робочого може спричинити вибух, пожежу, отруєння людей або порушення технологічного процесу, нормальної роботи життєво важливих об'єктів (електростанції, вузлів зв'язку, насосних станцій і т. ін). Аварійне освітлення має автономне джерело струму, що гарантує не менше 10% робочого освітлення, але не менше як 2лк всередині приміщення.

Евакуаційне освітлення проектується для забезпечення евакуації людей при аварійному вимкненні робочого освітлення. Мінімальна освітленість у цьому випадку має бути не менше 0,5 лк, а на відкритих майданчиках не менше 0,2 лк [20].

### **9.3.2.1 Розрахунок штучного освітлення центрального пульта управління стадії гасіння вапна**

Приміщення центрального пульта управління за зоровими умовами робіт відноситься до III-го (точні роботи) розряду в підрозряді.

Для освітлення приміщення центрального пульта управління вибирається світильник типу Лц<sub>0</sub> «Люцеттар» – світильник розсіяного світла.

Кількість рядів світильників у приміщенні визначається за формулою [21]:

$$N_{\delta} = \frac{\hat{A}}{(\hat{I} - h_{\delta}) \cdot [L/h]}, \quad (28)$$

- де  $B = 3$  – ширина приміщення, м;  
 $H = 3,5$  – висота приміщення, м;  
 $h_p = 0,8$  – висота робочої поверхні, м;  
 $[L/h] = 1,5$  – числове значення коефіцієнта світильника.

$$N_{\delta} = \frac{3}{(3,5 - 0,8) \cdot 1,5} \approx 1 \text{ д\у\а.}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею визначається за формулою [21]:

$$h = \frac{\hat{A}}{[L/h]}, \quad (29)$$

$$h = \frac{3}{1,5} = 2 \text{ м.}$$

Висота звисання світильників від стелі визначається за формулою [21]:

$$h_3 = H - h_p - h \quad (30)$$

$$h_3 = 3,5 - 0,8 - 2 = 0,7 \text{ м.}$$

Для розрахунку штучного освітлення використовується метод світлового потоку, при цьому кількість світильників, необхідна для освітлення приміщення, розраховується за формулою [21]:

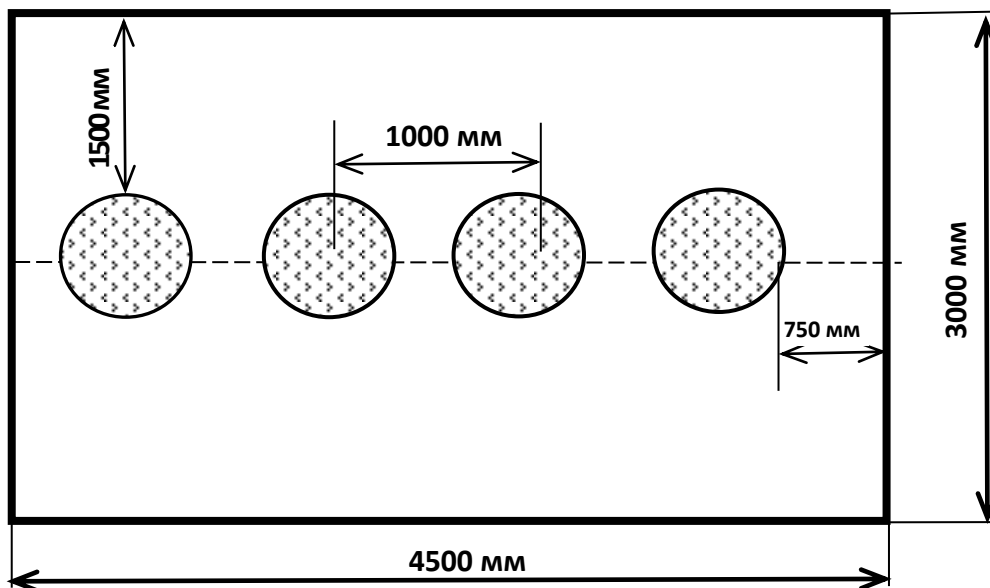
$$n = \frac{E \cdot S \cdot K}{F \cdot U \cdot Z}, \quad (31)$$

- де  $E = 100$  – мінімально допустима освітленість робочих поверхонь, лк;  
 $S = 13,5$  – освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  
 $F = 1710$  – світловий потік однієї лампи накаливання потужністю 150 Вт, лм;  
 $K = 1,3$  – коефіцієнт запасу для лампи накаливання в приміщеннях з малим виділенням забруднень;  
 $Z = 1,03$  поправочний коефіцієнт, що залежить від конструкції світильника, тип світильника – Лц;  
 $U = 0,25$  – коефіцієнт використання освітлювальної установки, який залежить від конструкції світильника, коефіцієнта відбиття стелі і стін, а також показника приміщення  $i = 4$ .

Кількість світильників складає:

$$n = \frac{100 \cdot 13,5 \cdot 1,3}{1710 \cdot 0,25 \cdot 1,03} \approx 4 \text{ шт.}$$

Схема розташування світильників зображена на рис. 9.1.



### Рисунок 9.1 – Схема розміщення світильників

Загальна потужність електроосвітлювальної установки визнається за формулою [21]:

$$N = \frac{n \cdot W + (0,1 \div 0,2) \cdot n \cdot W}{1000}, \quad (32)$$

де  $n = 4$  – розрахункова кількість ламп, шт;

$W = 150$  – потужність однієї лампи, Вт.

$$N = \frac{4 \cdot 150 + 0,2 \cdot 4 \cdot 150}{1000} = 0,72 \text{ кВт}.$$

### 9.3.3 Заходи електробезпеки

Електробезпека – система організаційних і технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики.

Для забезпечення електробезпеки використовуються окремо або в поєднанні один з одним такі технічні способи та засоби:

- захисне заземлення;
- занулення;
- вирівнювання потенціалів;
- мала напруга;
- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- огорожувальні пристрої;
- попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки;
- засоби захисту та запобіжні пристрої.

При експлуатації для запобігання виникненню електротравматизму використовують спеціальні засоби індивідуального захисту, які поділяються на основні і додаткові.

До основних засобів відносяться: боти, килимки, ізольовані підставки; переносні безпечні світильники напругою 12-42 В, знижувальні трансформатори, захисні пристрої, знаки безпеки, захисне заземлення. Ці засоби надійно ізолюють та витримують напругу мережі, обладнання, дають можливість до них доторкатися і працювати.

До додаткових засобів захисту належать: діелектричні килимки, доріжки, захисні окуляри, спеціальні рукавиці, захисні каски, пристрої тощо.

Накопичення зарядів статичної електрики відбувається під час користування одягом із штучного волокна, вовни, шовку, взуттям з підошвами, що не проводять електричного струму, виконання робіт з речовинами – діелектриками та шліфувальною шкуркою.

Дія статичної електрики для людини безпечна, бо сила струму дуже мала, але: розряд енергії відбувається у вигляді помірною і сильного уколу або

поштовху; вплив зарядів може призвести до тяжких нещасних випадків внаслідок рефлекторного руху поблизу незахищених та рухомих частин, перебування на висоті; іскрові розряди можуть спричинити спалах або вибух горючих речовин; вибухи при перевезенні рідин у незаземлених цистернах тощо.

Заходи щодо захисту від статичної електрики: заземлення технологічного устаткування, трубопроводів, апаратів; застосування загального і місцевого зволоження повітря в небезпечних приміщеннях робочої зони, якщо це допустимо за умовами виробництва; використання струмопровідної підлоги, а також спецвзуття зі струмопровідною підошвою, антистатичних рукавичок; іонізація повітря, застосування індукційних або тканинних нейтралізаторів. Вимоги до захисту від статичної електрики наведені в Правилах захисту від статичної електрики НПАОП 0.00-1.29-97 [22].

#### **9.3.4 Заходи боротьби з шумом та вібрацією**

Шум – одна з найпоширеніших виробничих шкідливостей, яку дуже складно усунути. При тривалому впливі шуму не тільки знижується гострота слуху, але й погіршується робота центральної нервової і серцево-судинної систем, шлунково-кишкового тракту, органів дихання, виникають запаморочення і функціональні зміни нервової системи, втома, ослаблення пам'яті та уваги. Шум може стати причиною виробничого травматизму та зниження продуктивності праці: так, підвищення рівня шуму на 10 дБ зменшує продуктивність праці на 10%. Увесь комплекс змін, який відбувається в організмі людини при тривалому впливі шуму, розглядається як так звана «шумова хвороба».

Захист від шуму досягається шляхом створення шумобезпечної техніки (ГОСТ 12.1.003-83), застосування методів і засобів колективного захисту (ГОСТ 12.1.029-80), індивідуального захисту, використання архітектурно-планувальних методів. Методи і засоби захисту від шуму поділяються на методи і засоби колективного та індивідуального захисту.

Методи і засоби колективного захисту розподіляються на такі, що знижують шум у джерелі його виникнення, і такі, що сприяють зниженню шуму під час його поширення. Перші з них найбільш ефективні та економічні. Вони спрямовані на зменшення шуму вібраційного (механічного), аеродинамічного та електромагнітного походження. Другі залежно від способу реалізації поділяються на організаційно-технічні, архітектурно-планувальні і акустичні. Останні засоби, в свою чергу, поділяються на засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізоляції, демпфування і глушники шуму.

Згідно з ГОСТ 12.1.029-80 засоби індивідуального захисту залежно від конструктивного виконання поділяються на протишумні навушники, протишумні вкладиші, шоломи та каски, костюми [20].

#### **9.4 Заходи пожежної безпеки на виробництві**

Пожежна безпека – це стан об'єкта, за якого вилучається можливість пожежі. У разі виникнення пожежі вживаються необхідні заходи щодо усунення негативного впливу небезпечних факторів пожежі на людей, споруди і матеріальні цінності.

На підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки наказом (інструкцією) повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим.

Протипожежний режим – це комплекс встановлених норм і правил поведінки людей, виконання робіт і експлуатації об'єкта, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки.

Протипожежний режим визначає:

- можливість паління (місце для куріння), застосування відкритого вогню, побутових нагрівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних);
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);
- порядок прибирання горючого пилу й відходів, зберігання промасленого спецодягу та ганчір'я, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;
- порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;
- порядок огляду й зачинення приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання й перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;
- порядок організації експлуатації і обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, установок пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння, димовидалення, вогнегасників тощо);
- порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технологічного та іншого інженерного обладнання;
- дії працівників у разі виявлення пожежі;



- порядок збирання членів добровільної пожежної дружини та відповідальних посадових осіб у разі виникнення пожежі, виклику вночі, у вихідні й святкові дні.

Працівники підприємства мають бути ознайомлені з цими вимогами на інструктажах, під час проходження пожежно-технічного мінімуму тощо, витяги з наказу (інструкції) з основними положеннями слід вивішувати на видних місцях.

На підприємстві має бути опрацьована загальнооб'єктова інструкція про заходи пожежної безпеки та інструкції для всіх вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщень (дільниць, цехів, складів, майстерень, лабораторій тощо). Ці інструкції мають вивчатися під час проведення протипожежних інструктажів, проходження пожежно-технічного мінімуму, а також в системі виробничого навчання і вивішуватися на видних місцях [15].

## **ВИСНОВКИ**

В дипломному проекті розроблена стадія гасіння вапна виробництва кальцинованої соди потужністю 220 тис. т/рік.

Аналіз способів виробництва кальцинованої соди, що існують на сьогоднішній день, показав, що для хімічної галузі України найбільш прийнятним є аміачний спосіб виробництва, оскільки є потужні сировинні ресурси – поклади карбонатної сировини та кухонної солі.

В дипломному проекті на підставі прийнятого способу виробництва була вибрана технологічна схема, виконані розрахунки матеріального та теплового балансу стадії гасіння вапна, конструктивний та механічний розрахунки гасильника вапна, наведена стисла характеристика технологічного обладнання розроблюваної стадії.

Висвітлені питання утворення відходів (твердих, рідких, газоподібних) на виробництві, запропоновані шляхи їх утилізації.

В розділі «Охорона праці» детально розглянуті шкідливі виробничі фактори на проектованому виробництві та заходи запобігання цим факторам, а також виконаний розрахунок штучного освітлення центрального пульта управління стадії гасіння вапна.