МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

_____
підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг
обладнання хімічних виробництв"

Тема роботи: Виробництво мідного купоросу. Розробити сушарку киплячого шару

Виконав:
студент групи ХМдн – 54р

Бондаренко Ігор Олександрович

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:
канд. техн. наук, доцент

Яхненко Сергій Михайлович

_____
підпис, дата

_____

СУМИ 2020

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 3 Група ХМдн – 54р

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Бондаренко Ігор Олександрович

1 Тема проекту: Виробництво мідного купоросу. Розробити сушарку киплячого шару

2 Вихідні дані: Розробити апарат псевдозрідженого шару для сушіння кристалів мідного купоросу продуктивністю 4000 кг/год. за вологим матеріалом. Вологість матеріалу, % на заг. масу: початкова – 7,6; кінцева – 0,6. Температура матеріалу, °С: початкова – 20; кінцева – 60. Теплоносій – повітря з початковою температурою 110°С. Розмір частинок матеріалу, мм: максимальний – 2; мінімальний – 0,5. Теплові втрати прийняти на рівні 10 %.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

1. Технологічна схема виробництва – 1,0 арк.
2. Складальний кресленик сушарки киплячого шару – 1,0 арк.
3. Складальний кресленик корпусу сушарки – 1,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання жовтень 2019 р.

Керівник _____ доц. Яхненко С.М.
підпис

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 47 с., 4 рис., 2 додатки, 20 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва мідного купоросу, складальний кресленик сушарки киплячого шару, складальний кресленик корпусу сушарки – усього 3 аркуша графічної частини (3,0×А1).

Тема кваліфікаційної роботи: «Виробництво мідного купоросу. Розробити сушарку киплячого шару».

У роботі наведено теоретичні основи і особливості процесу сушіння, обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних складових деталей та вузлів сушарки киплячого шару, виконані розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконано технологічні розрахунки апарату, визначені його геометричні розміри, розраховано та підібрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність доведена надійність роботи проектованої сушарки. Окремим підрозділом представлено монтаж розробленого апарату, діагностика та ремонт основних його вузлів. У розділі «Охорона праці» розглянуто теоретичне питання: «Закон України «Про охорону праці».

Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, СХЕМА, МІДНИЙ КУПОРОС, СУШАРКА, КИПЛЯЧИЙ ШАР, ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

Зміст

С.

Вступ 5

1 Технологічна частина 7

1.1 Опис технологічної схеми виробництва 7

1.2 Теоретичні основи процесу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів 9

1.3 Пристрій і принцип роботи апарату 15

2 Технологічні і проектні розрахунки 17

2.1 Технологічні і теплові (енергетичні) розрахунки 17

2.2 Конструктивні розрахунки 20

2.3 Визначення висоти киплячого шару 23

2.4 Гідравлічний опір апарату 25

2.5 Вибір допоміжного обладнання 26

3 Розрахунки апарату на міцність 29

3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки 29

3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою 30

4 Монтаж і ремонт апарату 33

4.1 Монтаж сушарки киплячого шару 33

4.2 Ремонт апарату 36

5 Охорона праці 39

Література 46

Додаток А – Схема реального процесу сушки на діаграмі Рамзина

Додаток Б – Специфікації до складальних креслеників

Вступ

Мідний купорос або сульфат міді (*англ. cupric sulphate*) – це сіль міді сірчаної кислоти, в безводному стані $CuSO_4$, біла дрібнокристалічна речовина, при поглинанні води стає синьою або блакитною. Добре розчиняється у воді. Із водного розчину кристалізується у вигляді кристалогідрату $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ синього кольору, відомого під назвою мідний купорос (синій камінь). При температурі вище 96 °C у рівновазі з водним розчином переходить в тригідрат: $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ [1].

Кристалогідрат зневоднюється прогріванням у мілкому керамічному посуді, при помішуванні скляною або іншою термостійкою неметалевою паличкою при обережному нагріванні (перегрів призведе до забруднення в сірий колір продуктами більш глибокого розкладу). Оскільки залишковий тиск водяної пари над безводним купрум сульфатом вищий, ніж над багатьма іншими зневоднюючими речовинами, його можна також отримувати зневодненням кристалогідрату в ексикаторі над іншими поглиначами води при звичайній температурі [1].

Мідний купорос широко застосовується для електролітичного отримання і рафінування міді, електролітичного покриття міддю інших металів, а також як фунгіцид у сільському господарстві у вигляді водної суспензії утвореної з вапном відомої як бордоська рідина [2].

У даному виробництві основним апаратом для висушування вологої дрібнокристалічної речовини $CuSO_4$ є сушарка киплячого (псевдозрідженого) шару (СКШ). Такі сушарки являють собою апарати для термічної сушки матеріалів. У СКШ продукт, який надходить на розподільну решітку, продувається наскрізь нагрітим газом (повітрям) зі швидкістю, необхідною для створення киплячого шару. Сушарки можуть працювати як під тиском газу, так і під розрідженням, але перші отримали більше розповсюдження. Також

слід зауважити, що у СКШ висушують не тільки дисперсні матеріали із розміром частинок від 0,2 до 10 мм, але й пасти, суспензії, розчини та розплави [3].

У СКШ досягається значна інтенсивність сушки і створюється можливість регулювання часу перебування матеріалу на решітці. Тривалість сушки більша, ніж в трубах-сушарках, що дає можливість здійснити глибшу і рівномірну сушку матеріалу. Недоліком є значна витрата електроенергії, необхідної для створення високого тиску сушильного агента (порядку 2000–6000 Па). Значне застосування СКШ отримали в США, де замість барабанних сушарок застосовують цей спосіб сушки [3].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [4]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно вимогам.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Розроблено технологічні основи та принципові схеми виробництва мідного купоросу з мідновмісного брухту хімічним або електрохімічним методом переробленням вторинної сировини. Вибір методу залежить від стану брухту (стружка, дріт, фольгований діелектрик тощо). Технологічні основи базуються та електрохімічному чи хімічному окисненні міді без використання товарних хімічних реагентів-окисників. Вихідним реактивом для синтезу мідного купоросу є лише сульфатна кислота, яка переходить у кінцевий продукт. У виробництві передбачено повний оборот усіх технологічних розчинів і промивних вод та повне очищення газових викидів [5].

Мідний купорос призначений для сільського господарства, промисловості (при виробництві штучних волокон, органічних барвників, мінеральних фарб, миш'яковий хімікатів, для збагачення руди при флотації) роздрібної торгівлі та експорту. Технологічну схему установки виробництва мідного купоросу наведено на рис. 1.1.

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Вихідний (сировиний) продукт з вологістю 7,6 % мас. надходить в бункери $Б_1$ і $Б_2$. Потім через шнековий живильник подається в сушарку киплячого шару, де відбувається висушування матеріалу. Повітря з навколишнього середовища через фільтра $Ф_1$ і $Ф_2$ подається вентилятором $В_1$ у сушарку киплячого шару, попередньо нагріваючись в калорифері *К*. Калорифер обігрівається гострою парою, конденсат скидається в каналізацію. Висушений до вологості 0,6 % мас. дрібнокристалічний продукт надходить на стрічковий транспортер $ЛТ_1$, а потім за допомогою вертикального транспортера *ВТ* спрямовується в бункер сухого продукту $Б_3$. Далі, пройшовши через ваговий дозатор *ВД*, продукт відвантажується на склад.

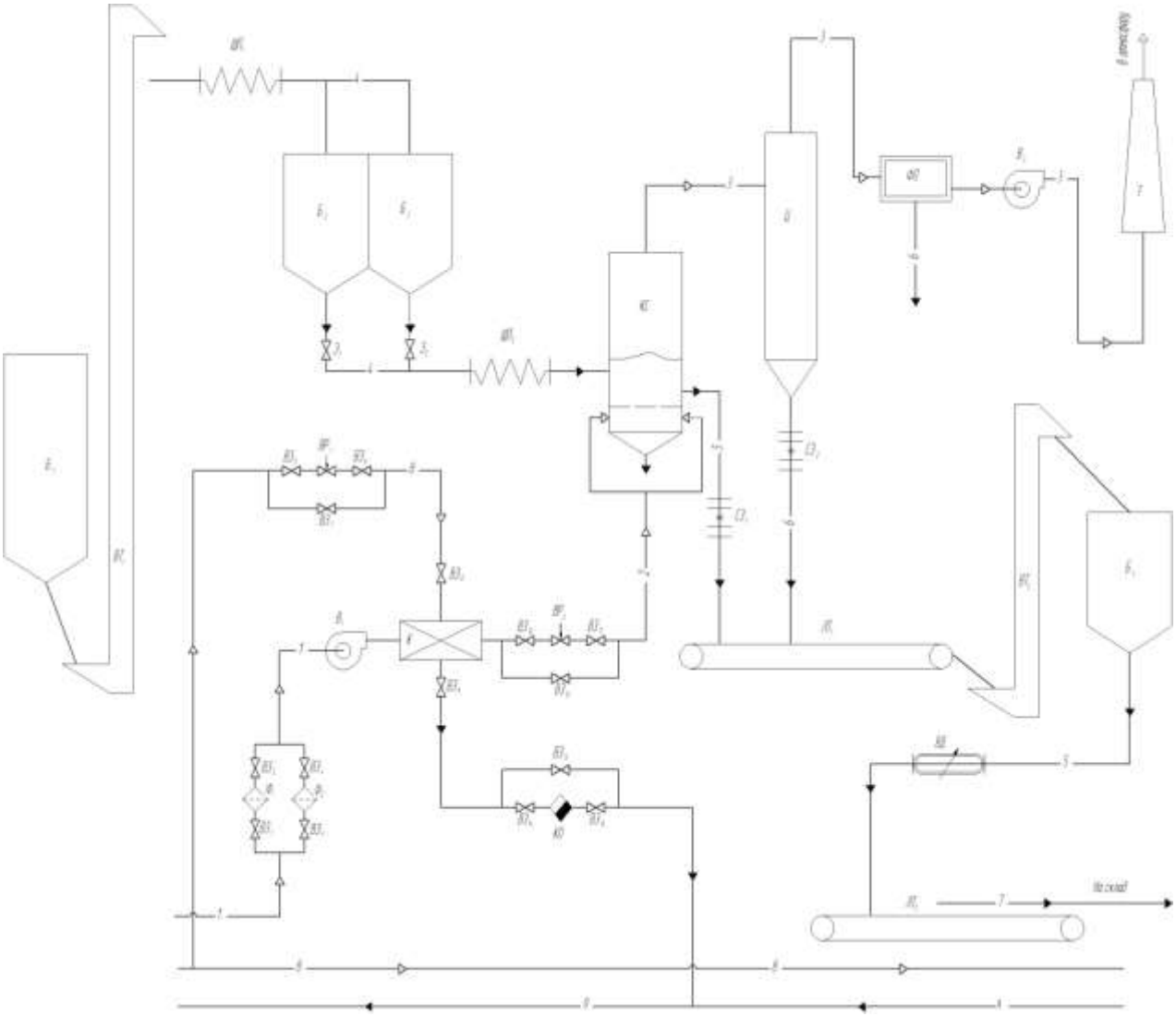

Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки виробництва мідного купоросу

На виході з сушарки киплячого шару передбачений циклон *Ц*, у який спрямовується відпрацьоване повітря. У циклоні відбувається уловлювання винесених з апарату частинок, після чого останні потрапляють на стрічковий транспортер $ЛТ_1$. Після циклону повітря очищається від пилу в патронному фільтр *ФП*. Очищене повітря вентилятором B_2 викидається в атмосферу через вихлопну трубу *Т*.

1.2 Теоретичні основи процесу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів

Теоретичний огляд, що представлено у даному підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [6–11].

Сушіння – це процес видалення вологи з матеріалів, шляхом її випаровування і відведення пари, що утворилася. Апарати, в яких здійснюють сушку, називають сушарками. За способом передачі тепла розрізняють конвективні, контактні, терморадіаційні, сублімаційні і високочастотні сушарки. Дисперсні матеріали, до яких відносяться зернисті, порошкоподібні, гранульовані, подрібнені тверді, а також диспергованi рідкі і пастоподібні продукти, в хімічній технології висушують головним чином конвективним способом – шляхом безпосереднього зіткнення висушуваного матеріалу з сушильним агентом, в якості якого зазвичай використовується нагріте повітря або топкові гази (як правило, в суміші з повітрям).

Кожен твердий вологий матеріал здатний поглинати вологу з навколишнього середовища або віддавати її навколишньому середовищу. Навколишнє середовище може містити або тільки водяну пару, або суміш водяної пари з газами. Позначимо парціальний тиск водяної пари в суміші з повітрям через Рп. Волога, що міститься у матеріалі, відповідає певному тиску водяної пари Рм, званому тиском водяної пари у вологому матеріалі.

При контакті матеріалу з вологим повітрям можливі **три стани системи**:

1) тиск водяної пари у вологому матеріалі Рм більше, ніж його парціальний тиск в навколишньому повітрі або газі, тобто Рм > Рп. У цьому випадку відбувається десорбція вологи з матеріалу в навколишнє середовище, тобто процес сушіння. Тиск водяної пари в матеріалі Рм залежить від вологості матеріалу, температури і характеру зв'язування вологи з матеріалом;

2) парціальний тиск пари в навколишньому середовищі більше, ніж його тиск у вологому матеріалі, тобто Рп > Рм. У цьому випадку відбувається сорбція вологи матеріалом, тобто процес зволоження матеріалу;

3) тиск водяної пари у вологому матеріалі і навколишньому середовищу рівні, тобто Рм = Рп. У цьому випадку настає динамічна рівновага, яка називається рівноважною вологістю Wp. Рівноважна вологість залежить від парціального тиску водяної пари Рп або пропорційної йому відносної вологості повітря φ. Залежність рівноважної вологості від φ при t = const називається ізотермою сорбції та встановлюється експериментальним шляхом.

Стан динамічної рівноваги є граничним в процесах сушіння та зволоження. При сушінні тиск пари у поверхні матеріалу, зменшуючись, прагне до рівноважного. При зволоженні, навпаки, тиск парів біля поверхні, збільшуючись, прагне до рівноважного.

Рівноважна вологість і, отже, перебіг процесу сушіння залежать від властивостей матеріалу, що висушується, характеру зв'язку з ним вологи і параметрів навколишнього середовища.

Зв’язок вологи з матеріалом може бути механічним, фізико-хімічним та хімічним.

Механічно пов’язана з матеріалом поверхнева волога, що заповнює великі капіляри матеріалу в результаті змочування. Ця волога (іноді звана зовнішньою) найменш міцно пов'язана з матеріалом і найбільш легко видаляється з нього.

Більш міцно пов’язана з матеріалом волога, яка поглинається поверхнею дрібних капілярів (адсорбційна волога) або проникає внаслідок дифузії всередину клітин матеріалу (структурна або осмотична пов'язана волога). Вологу, фізико-хімічно пов'язану з матеріалом, видаляти з нього значно важче.

Волога, хімічно зв'язана з матеріалом (гідратна або кристалізаційна), в процесі сушіння зазвичай не видаляється і тому при розрахунку сушарок не враховується.

Незалежно від характеру зв’язку вологу, міцно пов'язану з матеріалом, на відміну від зовнішньої вологи, називають гігроскопічною. Ця волога не може бути повністю вилучена з матеріалу шляхом сушіння. При сушінні вологий

матеріал віддає спочатку зовнішню вологу, потім частину гігроскопічної вологи, яка може бути видалена при даній температурі і вологості повітря. Уся волога, що видаляється з матеріалу в умовах теплової сушки, називається вільною вологою.

Шляхом значного збільшення температури повітря і зниження його відносної вологості можна видалити ще деяку частину гігроскопічної вологи. Цю частину вологи, яку ще можна видалити сушінням, часто називають пов'язаною вологою.

Таким чином, сушка можлива як у вологому, так і в гігроскопічному станах матеріалу за умови, що його вміст вологи більший рівноважного значення.

Процес сушки залежить як від властивостей матеріалу, так і від властивостей навколишнього середовища. Тому для вивчення процесу сушіння необхідно знати властивості вологого газу (повітря) і характер їх зміни в процесі сушіння.

Вологе повітря являє собою суміш сухого повітря і водяної пари. У ненасиченому повітрі волога знаходиться в стані перегрітої пари, тому властивості вологого повітря з деяким наближенням характеризуються законами ідеальних газів.

Суміш сухого газу з парами рідини називається вологим газом. Вологий газ характеризують такі параметри: температура, тиск, густина, відносна і абсолютна вологість, вологовміст, теплоємність, ентальпія.

Абсолютна вологість – це маса водяної пари в одиниці об'єму вологого повітря. Оскільки пар як компонент бінарної газової суміші займає весь об'єм вологого газу, поняття абсолютної вологості збігається з поняттям густини пари $\rho_п$ (в кг/м^3) при температурі t і парціальному тиску Рп.

Відносна вологість (φ) – це відношення кількості парів рідини в газі до максимально можливого при даній температурі і загальному тиску або ставлення густини пари ρп за даних умов до щільності насиченої пари при тих самих умовах:

$$\phi = \frac{\rho_п}{\rho_{н.п.}} = \frac{P_н}{P_{н.п.}}. \quad (1.1)$$

Під **вологовмістом** *x* розуміють кількість пари рідини (в кг), що припадає на 1 кг абсолютно сухого газу:

$$x = \frac{G_п}{L}, \quad (1.2)$$

де $G_п$ – маса (масова витрата) пари, кг (кг/с);

L – маса (масова витрата) абсолютно сухого газу, кг (кг/с).

Питома теплоємність вологого газу приймається адитивною величиною теплоємностей сухого газу та пари.

Питому ентальпію (*H*) парогазової суміші (в Дж/кг) виражають також за правилом адитивності як суму питомих ентальпій сухого газу $H_{с.г.}$ і пари $H_п$:

$$H = H_{с.г.} + H_п \cdot x. \quad (1.3)$$

Для розрахунку сушарок необхідно знати швидкість сушіння, яка визначається кількістю вологи W, що випаровується з одиниці поверхні F висушуваного матеріалу за одиницю часу:

$$U = \frac{W}{F \cdot \tau}, \quad (1.4)$$

де τ – час сушіння, с.

Знаючи швидкість сушіння, визначають тривалість періодичного процесу сушіння або поверхню матеріалу, що висушується при сушінні безперервним способом і встановлюють габаритні розміри сушильних апаратів.

Рушійна сила процесу сушіння визначається різницею тисків Рм – Рп, тобто різницею тиску парів вологи у поверхні матеріалу Рм і парціального тиску пари в повітрі Рп.

Розрізняють два періоди сушки: період постійної швидкості і період падаючої швидкості процесу. Протягом першого періоду волога випаровується з усієї поверхні вологого матеріалу. Швидкість сушіння постійна і визначається лише швидкість зовнішньої дифузії, тобто дифузії парів вологи з поверхні матеріалу в навколишнє середовище.

У другому періоді швидкість сушіння визначається внутрішньою дифузією – переміщенням вологи зсередини матеріалу до його поверхні. З початку другого періоду поверхня підсушеного матеріалу починає покриватися кіркою і поверхня випаровування вологи поступово зменшується, що призводить до збільшення опору внутрішньої дифузії і до безперервного зменшення швидкості сушіння. Двом основним періодам передує деякий період прогріву матеріалу до температури сушіння.

Правильний вибір матеріалів і технології виготовлення апаратів сприяє збільшенню тривалості їх ефективної експлуатації, зниженню трудомісткості їх виготовлення та собівартості. Вибір матеріалів та заготовок обумовлюється характером виробництва, конструктивними, експлуатаційними та технологічними особливостями, а також економічною доцільністю. Для матеріалів які працюють в агресивному середовищі необхідно враховувати характер останніх, концентрацію та температуру Вибір конструктивних матеріалів для виготовлення основних деталей і вузлів барабанної сушарки проводився на підставі [12–13].

Матеріалами для виготовлення стальних зварних апаратів є напівфабрикати, які поставляються металургічною промисловістю у вигляді листового, сортового та фасонного прокату, труб, спеціальних поковок та відливків. Матеріали повинні бути хімічно та корозійностійкими в заданому середовищі при її робочих параметрах, володіти гарною зварюваністю та відповідними міцнісними та пластичними характеристиками в робочих умовах, допускати холодну та гарячу механічну обробку, а також мати якомога нижчу вартість та бути недефіцитними. Якість, хімічний склад та механічні властивості матеріалів

повинні відповідати вимогам діючих стандартів і ТУ та бути підтвердженими сертифікатами заводів поставників.

Вибір конструкційних матеріалів проводиться на основі аналізу умов експлуатації оладнання, параметрів процесу, таких як температура, тиск, концентрація робочих середовищ та їх агресивність. Також обираючи матеріали заготовок враховують: механічні влативості матеріалів, хімічну стійкість, теплопровідність, технологічність у виготовленні та вартість матеріалу. Одним із найважливіших показників при виборі матеріалу є здатність матеріалу добре зварюватися, адже більшість нероз'ємних з'єднань при виготовленні хімічних апаратів виконують зварюванням. Хімічна промисловість відрізняється застосуванням агресивних речовин, а тому корозійна стійкість матеріалів є ключовим фактором при виборі матеріалу обладнання та визначає довголіття хімічного обладнання.

Вибір конструкційного матеріалу виконується так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечити високу якість та ефективну технологію виготовлення апарату. З огляду на температурні параметри процесу сушіння (до 750°С) тиск в апараті (до 0,1 МПа) та помірну агресивність речовин, в якості основного матеріалу для виготовлення апарату киплячого шару обираємо низьколеговану (з вмістом легуючих елементів до 2,5 %) сталь, що поставляється у вигляді листового прокату товщиною (4–160 мм) згідно з ГОСТ 5520-79 та ГОСТ 19281-89.

Листовий прокат – основний матеріал при виготовленні апаратів киплячого шару. З листової сталі виготовляють обичайки, днища, фланці, газорозподільчі решітки тощо.

Сталь 09Г2С – сталь конструкційна низьколегована для зварних конструкцій. Використовується для виготовлення апаратів, фланців, днищ, обичайок, сосудів. Поставляється у вигляді стальних листів. Характеризується гарною зварюваністю, високою міцністю та ударною в'язкістю, використовується в інтервалі температур від –70°С до +775°С. Добре деформується в гарячому і

холодному стані, легко піддається обробці різанням, добре зварюється всіма видами зварювання.

Сталь Ст3 – конструкційна вуглецева сталь звичайної якості. Застосовується для виготовлення збірників, насосів, несучих елементів зварних і незварних конструкцій, що працюють при температурах від –40°С до +725°С. Добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускної крихкості. Поставляється у вигляді листового та фасонного прокату.

Сталь 35Х – конструкційна легована сталь. Застосовується для виготовлення осей, валів, шестерень та інших поліпшуваних деталей. Обмежено зварювана, схильна до відпускної крихкості.

Пароніт – листовий матеріал прокладки, виготовлений пресуванням асбокаучукової маси, що складається з азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів. Застосовується для ущільнення фланцевих з’єднань.

1.3 Пристрій і принцип роботи апарату

Сушарка киплячого шару (рис. 1.2) являє собою вертикальну шахту, що розділена по висоті горизонтальною решіткою на дві камери: нижню і верхню. Працює сушарка наступним чином. Через нижню камеру 1, до якої примикає топка, обладнана дуттєвим вентилятором, у сушарку подають гаряче повітря. Верхня камера 2 обладнана завантажувальним і розвантажувальним пристроями. У топці спалюється газ. Повітря для забезпечення горіння і пониження температури сушильного агенту подається у топку двома повітропроводами. Частково відпрацьовані гази подають у камеру змішування. Вологі кристали мідного купоросу подаються у сушарку за допомогою живильника. Вони потрапляють на решітку 3, через яку проходять гаряче повітря – сушильний агент.

Сутність цього способу сушки полягає у тому, що вихідний матеріал на розподільній решітці потоками газу приводиться у стан псевдозрідження. Швидкість потоку газу крізь решітку підбирається такою, щоб матеріал на решітці перебував у завислому «киплячому» стані.

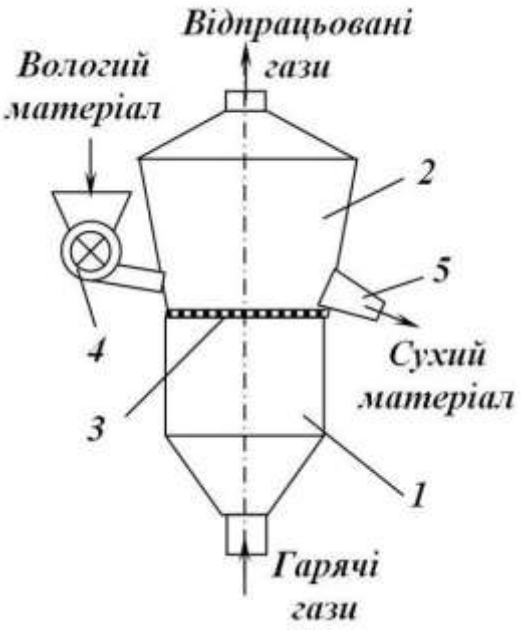

Рисунок 1.2 – Схема сушарки киплячого шару з основними технологічними потоками: 1 – нижня камера; 2 – верхня камера; 3 – решітка; 4 – завантажувальний пристрій; 5 – розвантажувальний пристрій

У стані «кипіння» кожна частинка матеріалу гарантовано омивається потоком гарячого повітря, у результаті чого між газом і купоросом створюється гарний контакт. Частинки мідного купоросу нібито «течуть» по решітці від точки завантаження до розвантажувального пристрою сушарки. При проходженні зріджую чого повітря крізь киплячий шар із поверхні частинок випаровується волога. Підсушені на решітці більш великі частинки матеріалу видаляються з сушарки по лотку, розташованому над шаром матеріалу, а дрібні частинки – виносяться з шару сушильним агентом і відділяються від нього в батареї циклонів (або інших пристроях). Відпрацьовані гази, разом із випареною вологою, після проходження через систему пиловловлення викидаються в атмосферу. Висота киплячого шару складає 0,3–0,7 м і залежить від властивостей матеріалу, що висушується, режиму сушки і конструкції сушильної камери.

У сушарках киплячого шару досягається значна інтенсивність сушіння і створюється можливість регулювання часу перебування матеріалу на решітці.

2 Технологічні і проектні розрахунки

2.1 Технологічні і теплові (енергетичні) розрахунки

Технологічний розрахунок сушарок киплячого шару полягає у визначенні їх необхідної сумарної площі. Розрахунок ведемо згідно методики, що наведена у [11].

Для початку визначимо середньорічні параметри повітря: приймаємо середньорічну температуру повітря t_{B0} = 6,6°С з відносною вологістю φ_{B0} = 78 %.

За діаграмою Рамзина (див. Додаток А) параметри повітря перед калорифером складають: точка А на діаграмі (X_0 = 0,006 кг/кг; I_0 = 20 кДж/кг). Тоді параметри повітря в калорифері: точка В (tвн = 110 °С, X_B = 0,006 кг/кг, I_B = 132 кДж/кг).

Параметрами точки C_1 є: постійна ентальпія I_B = 132 кДж/кг і кінцева температура повітря, яку приймаємо по практичним даним t_{BK} = 70 °С.

При теоретичному процесі сушіння питома теплота визначається з наступного рівняння:

$$q_T = \frac{I_B - I_0}{X_{ВЫХ} - X_0}, \qquad (2.1)$$

де $X_{ВЫХ}$ – вміст вологи в повітрі на виході з сушарки при теоретичному процесі, кг/кг. За діаграмою Рамзина $X_{вих}$ = 0,022 кг/кг (точка C_1 на діаграмі).

$$q_T = \frac{132000 - 20000}{0,022 - 0,006} = 7000000\,(\text{Дж/кг}).$$

У реальній сушарці кінцевий вміст вологи X_K буде меншим $X_{ВЫХ}$. Його значення визначаємо наступним чином.

Із рівняння лінії реального процесу сушіння

$$I = I_B - \Delta q\ (X - X_0), \qquad (2.2)$$

прийнявши будь-яке значення X, менше $X_{вых}$, визначаємо I, попередньо розрахувавши вологу, що випаровується W, і поправку Δq для реального процесу.

Витрати вологи, що випаровується:

$$W = G_1 \cdot (\omega_H - \omega_K); \qquad (2.3)$$

$$W = 4000 \cdot (0{,}076 - 0{,}006) = 280 (кг/год.).$$

Питома теплота на нагрівання матеріалу при температурі матеріалу на виході з сушарки:

$$q_{MAT} = \frac{G_1 \cdot c_M \cdot (\theta_K - \theta_H)}{W}, \qquad (2.4)$$

де c_M – питома теплоємність мідного купоросу; $c_M = 385$ Дж/(кг·К).

$$q_{MAT} = \frac{4000 \cdot 385 \cdot (60 - 20)}{280} = 220000 (Дж/кг).$$

Із огляду на те, що теплові втрати у навколишнє середовище складають 10 % (згідно завдання на проект), отримаємо:

$$q_{ПОТ} = 0{,}1 \cdot q_T = 0{,}10 \cdot 7000000 = 700000 (Дж/кг).$$

Різниця температур в теоретичній і реальній сушарках:

$$\Delta q = q_{MAT} + q_{ПОТ} - c_\omega \cdot t_{B0}; \qquad (2.5)$$

$$\Delta q = 220000 + 700000 - 5000 \cdot 6,6 = 887000 \text{ (Дж/кг)}.$$

Прийнявши значення X=0,01 кг/кг, за рівнянням (2.2) розраховуємо:

$$I = 132000 - 887000 \cdot (0,01 - 0,006) = 128452 \text{ (Дж/кг)}.$$

Виходячи з діаграми Рамзина (див. Додаток А), визначаємо вміст вологи в повітрі на виході з сушарки. Для цього проведемо лінію через дві точки: перша точка ($X_В$ = 0,006 кг/кг; $I_В$ = 132 кДж/кг); друга точка (X = 0,01 кг/кг; I = 128 кДж/кг) – до перетину з ізотермою $t_{ВК}$ = 70° С. Відповідно знаходимо вміст вологи в повітрі, який залишає барабанну сушарку: $X_К$ = 0,017 кг/кг (точка С на діаграмі).

Таким чином, витрати сухого теплоносія в сушарці:

$$G_C = \frac{W}{X_K - X_0}; \tag{2.6}$$

$$G_C = \frac{280}{0,017 - 0,006} = 25455 \text{ (кг/год.)}.$$

Витрати вологого теплоносія на виході з сушарки:

$$V_В = v_{УД} \cdot G_C; \tag{2.7}$$

$$v_{УД} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_в \, p_{нас}} = \frac{287 \cdot (273 + 70)}{100000 - 0,78 \cdot 32200} = 1,3 \text{ (м}^3\text{/кг)};$$

$$V_В = 1,3 \cdot 25455 = 33092 \text{ (м}^3\text{/год.)}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Для визначення площі поперечного перерізу сушарки необхідно визначити швидкість повітряного потоку в сушарці.

Швидкість початку псевдозрідження (перша критична швидкість):

$$\omega_{\text{КР}} = \frac{\text{Re}_{KP} \cdot \mu_{CP}}{d_{Э} \cdot \rho_{CP}}, \tag{2.8}$$

де $\mu_{cp} = 2,2 \cdot 10^{-5}\, Па \cdot c$ – в'язкість повітря при середній температурі;

ρ_{CP} – щільність повітря при середній температурі;

$d_{Э}$ – еквівалентний діаметр частинки.

Визначаємо критерій Рейнольдса за рівнянням [8]:

$$\text{Re}_{KP} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}, \tag{2.9}$$

де Ar – критерій Архімеда.

$$Ar = \frac{d_{Э}^{3} \cdot \rho_{CP} \cdot g \cdot \rho_{Ч}}{\mu_{CP}^{2}}, \tag{2.10}$$

де $\rho_{Ч}$ =3600 кг/м^3 – щільність матеріалу.

$$Ar = \frac{0,0013^{3} \cdot 1,1 \cdot 9,81 \cdot 3600}{\left(2,2 \cdot 10^{-5}\right)^{2}} = 176339.$$

$$\text{Re}_{KP} = \frac{176339}{18 + 5,22 \cdot \sqrt{176339}} = 79,8.$$

Підставивши в рівняння (2.8), отримаємо:

$$\omega_{\text{КР}} = \frac{79,8 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0013 \cdot 1,1} = 1,23\,(\text{м/с}). \qquad (2.11)$$

Швидкість віднесення частки (друга критична швидкість) $\omega_{\text{УН}}$ з сушарки «киплячого шару» визначається за допомогою критеріального рівняння [8]:

$$\omega_{\text{УН}} = \frac{\mu_{CP}}{d_{\text{Э}} \cdot \rho_{CP}} \left(\frac{Ar}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}} \right); \qquad (2.12)$$

$$\omega_{\text{УН}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0013 \cdot 1,1} \cdot \left(\frac{176339}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{176339}} \right) = 10,05\,(\text{м/с}).$$

Робочу швидкість сушильного агента вибирають в інтервалі від $\omega_{\text{КР}}$ до $\omega_{\text{УН}}$. Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження. У свою чергу, число псевдозрідження залежить від: форми частинок, форми апарату, конструкції газорозподільної решітки і т. д. [11]. Його визначення базується на підставі аналізу дослідних даних, і для наших умов ведення процесу вибираємо значення K_{ω} = 1,8.

Таким чином, робоча швидкість сушильного агента становить:

$$\omega_{P} = K_{\omega} \cdot \omega_{KP}; \qquad (2.13)$$

$$\omega_{P} = 1,8 \cdot 1,23 = 2,2\,(\text{м/с}).$$

Діаметр решітки сушарки визначається за рівнянням [8]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_{\text{Р}}}}; \qquad (2.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{33092}{3600 \cdot 0,785 \cdot 2,2}} = 2,31(\text{м}).$$

Приймаємо стандартизоване значення D = 2,5 м.

Площа решітки складе:

$$\text{S} = 0,785 \cdot \text{D}^2 = 0,785 \cdot 2,5^2 = 4,906\,\text{м}^2. \qquad (2.15)$$

Згідно з рекомендаціями [11] для забезпечення осадження частинок матеріалу в сепаруючій частині необхідно розширити сепараційний простір. Діаметр сепарації простору повинен бути більше в 1,2 рази від діаметра решітки сушарки (нижньої частини).

$$D_C = D \cdot 1,2 = 2,5 \cdot 1,2 = 3(\text{м}).$$

Тоді кут конусності обичайки складе:

$$\alpha = arctg\left(\frac{D_C - D}{\text{Н}_{\text{ЗАГ}}}\right) = arctg\left(\frac{3 - 2,5}{2}\right) = 7,13^0,$$

де $\text{Н}_{\text{ЗАГ}}$ – загальна висота апарату над решіткою (див. розрахунок нижче).

Діаметри штуцерів розраховуємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}. \qquad (2.16)$$

Швидкості руху повітря приймаємо за [8] 5–15 м/с.

Діаметр штуцера для входу і виходу повітря:

$$d_1 = \sqrt{\frac{33092}{3600 \cdot 0,785 \cdot 12}} = 0,988\,(\text{м}).$$

Приймаємо для входу повітря 2 патрубка по 500 мм, а для виходу – один патрубок із діаметром 1000 мм.

2.3 Визначення висоти киплячого шару

Висота киплячого шару [8]:

$$H = \frac{1-\varepsilon_0}{1-\varepsilon_{CP}} \cdot H_0, \qquad (2.17)$$

де H_0=0,2 м – висота шару, що знаходиться у спокої;

ε_0=0,4 – порозність насипного шару, що знаходиться у спокої;

ε_{CP} – середня порозність киплячого шару:

$$\varepsilon_{CP} = \left(\frac{18 \cdot \mathrm{Re}_P + 0,36 \cdot \mathrm{Re}_P^2}{Ar} \right)^{0,21}, \qquad (2.18)$$

де Re_P – число Рейнольдса при робочій швидкості:

$$\mathrm{Re}_P = \frac{\omega_P \cdot d_Э \cdot \rho_{CP}}{\mu_{CP}}; \qquad (2.19)$$

$$\mathrm{Re}_P = \frac{2,2 \cdot 0,0013 \cdot 1,1}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 143.$$

Тоді ε_{CP} дорівнює:

$$\varepsilon_{CP} = \left(\frac{18 \cdot 143 + 0,36 \cdot 143^2}{176339} \right)^{0,21} = 0,55 .$$

Можемо визначити висоту киплячого шару:

$$H = \frac{1 - 0,4}{1 - 0,55} \cdot 0,2 = 0,27 \text{ (м)}.$$

Діаметри отворів в решітці визначаються за формулою [8]:

$$d_0 = \frac{H}{80} ; \qquad (2.20)$$

$$d_0 = \frac{0,27}{80} = 3,37 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Діаметр отворів розподіленої решітки вибираємо з ряду нормальних розмірів. Приймаємо діаметр отворів розподільної решітки $d_0 = 3,6$ мм.

Число отворів у розподільній решітці визначаємо за рівнянням [8]:

$$n = \frac{D^2 \cdot F_c}{d_0^2} , \qquad (2.21)$$

де F_c=0,04 – живий перетин решітки.

$$n = \frac{2,5^2 \cdot 0,04}{0,0036^2} = 19290 \text{ (шт.)}.$$

Висоту сепараційного простору сушарки з псевдозрідженим шаром приймаємо у 4–6 разів більше висоти псевдозрідженого шару [8]:

$$H_c = 6 \cdot H = 6 \cdot 0,27 = 1,62\,(\text{м}). \qquad (2.22)$$

Загальна висота апарату над решіткою:

$$H_{ЗАГ} = H_c + H = 1,62 + 0,27 = 1,89\,(\text{м}). \qquad (2.23)$$

Приймаємо $H_{ЗАГ}$=2 м.

2.4 Гідравлічний опір апарату

Основну частку загального гідравлічного опору сушарки становить гідравлічний опір псевдозрідженого шару і решітки:

$$\Delta P = \Delta P_{ПС} + \Delta P_P. \qquad (2.24)$$

Величину $\Delta P_{ПС}$ знаходимо з рівняння:

$$\Delta P_{\text{ПС}} = \rho_Ч \cdot (1-\varepsilon) \cdot g \cdot H; \qquad (2.25)$$

$$\Delta P_{ПС} = 3600 \cdot (1-0,55) \cdot 9,81 \cdot 0,27 = 4290\,(\text{Па}).$$

Мінімально допустимий опір решітки:

$$\Delta P_{P\min} = \frac{\Delta P_{\text{ПС}} \cdot K_\omega^2 \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_\omega^2 - 1) \cdot (1 - \varepsilon_0)}; \qquad (2.26)$$

$$\Delta P_{P\min} = \frac{4290 \cdot 1{,}8^2 \cdot (0{,}55 - 0{,}4)}{(1{,}8^2 - 1) \cdot (1 - 0{,}4)} = 1550\,(\text{Па}).$$

Гідравлічний опір обраної решітки:

$$\Delta P_p = \xi \cdot \left(\frac{w}{F_c}\right)^2 \cdot \frac{\rho_{cp}}{2} \tag{2.27}$$

Коефіцієнт опору решітки приймаємо $\xi = 1{,}75$.

$$\Delta P_P = 1{,}75 \cdot \left(\frac{2{,}2}{0{,}04}\right)^2 \cdot \frac{1{,}1}{2} = 2912\,(\text{Па}).$$

Загальний гідравлічний опір сушарки:

$$\Delta P = 4290 + 2912 = 7202\,(\text{Па}).$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання

При сушінні зернистих матеріалів спостерігається значне унесення висушеного матеріалу. Для уловлювання таких часток на виході із сушарки встановлюють циклони.

Допустима концентрація пилу в газах, що очищаються, залежить від властивостей пилу і діаметра циклону. При очищенні газів від пилу в циклонах діаметром 800 мм і більше її вміст у газі не повинен перевищувати 2,5 кг/м^3. Для циклонів меншого діаметра концентрація пилу в газах повинна бути меншою. Велика концентрація пилу в газі може призвести до порушення нормальної роботи апарату.

Циклони ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24, СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34 рекомендується застосовувати для уловлювання:

- золи з димових газів котельних установок;
- пилоподібних продуктів, що уносяться з різного типу сушарок;
- зернистого каталізатора у процесах каталітичного крекінгу;
- зернистих і пилоподібних продуктів, які прямують пневмотранспортом;
- пилу, який покидає вентиляційні установки тощо.

Найбільш поширеною конструкцією циклонів є циклон НІІОГАЗ серії ЦН-15. При розрахунку циклонів визначають діаметр циклонів за умовною швидкістю газу, віднесеною до повного перетину апарату:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_y}}, \qquad (2.28)$$

де V – секундна витрата газу (повітря);

ω_y – умовна швидкість газу, яка знаходиться з формули:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\omega_y^2 \cdot Y_r}{2g}, \qquad (2.29)$$

де відношення $\Delta P / Y_r$ залежить від продуктивності і дорівнює 55–75 [11].

Приймаємо $\Delta P / Y_r = 65$.

$$\omega_y = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2 \cdot g}{Y_r \cdot \xi}}, \qquad (2.30)$$

де $\xi = 100$ – коефіцієнт місцевого опору для циклонів ЦН-15.

$$\omega_y = \sqrt{\frac{65 \cdot 2 \cdot 9,81}{100}} = 3,57 \text{ (м/с)};$$

$$\text{D} = \sqrt{\frac{33092}{3600 \cdot 0,785 \cdot 3,7}} = 1,8 \text{ (м)}.$$

Отже, для нормальної роботи установки приймаємо 2 циклонних апарати типу НІІОГАЗ серії ЦН-15 діаметрами 1000 мм. Циклони встановлюються за паралельною схемою підключення.

Визначаємо об'єм бункеру вологого матеріалу:

$$V_n = \frac{G_в \cdot \tau}{\rho_м \cdot \phi}, \qquad (2.31)$$

де $G_в$ – кількість вологого матеріалу;

$\tau = 6$ год. – тривалість робочої зміни;

$\rho_м$ – щільність матеріалу;

ϕ – коефіцієнт заповнення ємкості; приймається в межах ϕ=0,85÷0,95 [8].

$$V_n = \frac{1,11 \cdot 6 \cdot 3600}{3600 \cdot 0,9} = 7,4 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Приймаємо бункер загальним об'ємом 8 м^3:

- діаметр 1,6 м;
- висота 4,0 м.

3 Розрахунки апарату на міцність

3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки

Розрахунок на міцність і стійкість сушарки ведемо за методикою, що наведено у [14].

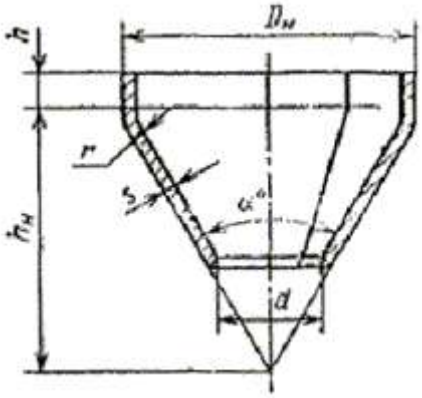

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки конічної

Вихідні дані до розрахунку: матеріал обичайки – 09Г2С; внутрішній діаметр більшої основи D = 3000 мм; внутрішній діаметр меншої основи D_1 = 2500 мм; прибавка для компенсації корозії та ерозії c_1 = 1 мм; прибавка для компенсації мінусового допуску c_2 = 0 мм; технологічна прибавка c_3 = 0 мм; довжина обичайки L = 2000 мм; коефіцієнти міцності зварних швів φ = 1.

Визначаємо відношення визначальних параметрів:

$$\frac{\sigma}{p}\cdot\phi=\frac{135}{0{,}1}\cdot 1=1350. \qquad (3.1)$$

Товщину стінки знаходимо за формулою [14]:

$$S_{\text{к.р}}=\frac{p\cdot D}{2\cdot\cos\alpha\cdot[\sigma]\cdot\phi}, \qquad (3.2)$$

де D = 3,0 м – найбільший діаметр апарату;

P = 0,1 МПа – тиск гріючої пари;

[σ]=135 МН/м^2 – допустиме напруження для сталі 09Г2С.

$$S_{к.р} = \frac{0,1 \cdot 3}{2 \cdot \cos 7,13^0 \cdot 135 \cdot 1} = 1,12 \cdot 10^{-3} (м).$$

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_{K\,R} + c; \qquad (3.3)$$

$$S = 1,12 \cdot 10^{-3} + 1,0 \cdot 10^{-3} = 2,12 \cdot 10^{-3} (м).$$

Приймаємо товщину стінки обичайки S=3 мм.

Допустимий тиск для корпусу сушарки:

$$[p] = \frac{2 \cdot \cos\alpha \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + 2 \cdot \cos\alpha \cdot (s - c)}; \qquad (3.4)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot \cos 7,13^0 \cdot 135 \cdot 1 \cdot (3-1) \cdot 10^{-3}}{3 + 2 \cdot \cos 7,13 \cdot (3-1) \cdot 10^{-3}} = 0,18\,(МПа)$$

Умову міцності корпусу виконано.

3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою

Вихідні дані до розрахунку: матеріал обичайки – 09Г2С; внутрішній діаметр основи D = 2500 мм; прибавка для компенсації корозії та ерозії c_1 = 1 мм;

прибавка для компенсації мінусового допуску c_2 = 0 мм; технологічна прибавка c_3 = 0 мм; коефіцієнти міцності зварних швів φ = 1.

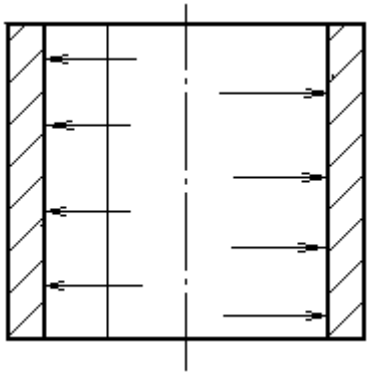

Рисунок 3.2 – Розрахункова схема обичайки циліндричної

Розрахункова товщина стінки у робочому стані:

$$s_R = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - p_p}, \tag{3.5}$$

де D=2,5 м – найменший діаметр апарату.

$$s_R = \frac{0,1 \cdot 2,5}{2 \cdot 135 \cdot 1 - 0,1} = 9,26 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}.$$

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_R + c; \tag{3.6}$$

$$S = 9,26 \cdot 10^{-4} + 1,0 \cdot 10^{-3} = 1,93 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Також приймаємо товщину обичайки S=3 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск визначимо за формулою:

$$[p_П] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi \cdot (S - c)}{D + (S - c)}; \qquad (3.7)$$

$$[p_П] = \frac{2 \cdot 135 \cdot 1,0 \cdot (3-1) \cdot 10^{-3}}{2,5 + (3-1) \cdot 10^{-3}} = 0,216 \text{ (МПа)}.$$

Оскільки $[p_П]$ > P (0,216 > 0,1) – умова виконується, а, отже, міцність забезпечується.

Перевіряємо умови застосовності формул:

$$\frac{S - C}{D} \le 0,1; \qquad (3.8)$$

$$\frac{3-1}{2500} = 8 \cdot 10^{-4} < 0,1.$$

4 Монтаж і ремонт апарату

4.1 Монтаж сушарки киплячого шару [15, 16]

Роботи по будівництву споруд та будівель доручають будівельній організації – генеральному підрядчику. Ця організація долучає в якості субпідрядників спеціалізовані організації для виконання монтажних, сантехнічних, електротехнічних, теплоізоляційних та інших робіт.

Для виконання монтажних робіт розробляється проект проведення робіт (ППР), який містить:

- відомості про об’єми монтажних робіт та кошторисно-фінансові розрахунки за трудовими затратами;
- об'єми виготовлення металоконструкцій і трубопроводів, а також трудові витрати на їх виготовлення і монтаж;
- технічні рішення по монтажу обладнання із застосуванням вантажопідйомних кранів і засобів механізації;
- графік суміщеного проведення будівельних, монтажних і спеціальних робіт, що виконуються всіма організаціями на об'єкті; робочі креслення металоконструкцій і трубопроводів, а також схеми і технологічні карти на послідовність монтажу металоконструкцій і трубопроводів;
- перелік монтажного обладнання, механізмів, інструментів та матеріалів, необхідних для виконання монтажних робіт;
- креслення на необхідні помости, ліса, драбини та площадки для виконання робіт на висоті;
- перелік заходів з техніки безпеки і охорони праці.

Монтаж установок киплячого шару проводять за допомогою самохідних стрілових кранів. Після установки обладнання на фундамент проводять вивірку за відхиленнями від проектних осей і відміток в горизонтальному і вертикальному напрямках. Вибір способу провадження монтажних робіт і використовуваних механізмів залежить від конструкції, маси і габаритів обладнання.

При монтажі апаратури застосовують наступні методи:

1. **Метод ковзання без відриву від землі** застосовується для установки вертикальних апаратів за допомогою самохідних кранів або щогл. Апарат підводиться за монтажні пристрої, закріплені на корпусі вище центру ваги. Нижня частина апарату, укладена на сани або візок, при підйомі підтягують трактором або лебідкою до фундаменту. Вантажопідйомність крану повинна бути не менше маси апарату.
2. **Метод витискання** – різновид методу повороту навколо шарніра. Штовхачі закріплені за допомогою шарніра до корпусу апарата. Нижні кінці штовхачів встановлюються на колії. При роботі лебідки кінці штовхачів рухаються по рейках і піднімають апарат до вертикального положення. Цей метод застосовується в обмежених умовах, коли не можна використовувати вантажопідйомні крани і неможливо встановити щогли з розтяжками.
3. **Метод повороту навколо шарніру**. Шарнір розташований поблизу фундаменту і закріплений до нього. Нижній кінець апарату з'єднаний з шарнірним пристроєм. При підйомі за верхівку апарат повертається на шарнірі і при досягненні вертикального положення своєю основою встановлюється на фундамент. Такий спосіб дозволяє піднімати апарати значно більшої маси в порівнянні з вантажопідйомністю монтажних кранів або механізмів.

Послідовність подачі деталей і вузлів сушарки в монтажну зону відображається в технологічній монтажній карті або в окремому графіку. У графіку вказуються: час подачі деталей і вузлів; місце, до якого деталь або вузол повинні бути подані; застосовувані транспортні та підйомні засоби і трудові витрати. Запас деталей в монтажній зоні не повинен перевищувати 2–3 змінної потреби. Складання вузлів і деталей в монтажній зоні повинно проводитися так, щоб не заважати виконанню монтажних робіт. Подачу деталей до місця монтажу бажано проводити в зміну, вільну від монтажу.

Монтаж сушарок киплячого шару зводиться по суті до установки апарату на фундамент або опорну металоконструкцію, вивірки його, випробуванню на міцність і щільність з’єднань (швів, фланців, прокладок) і приєднання його до комунікацій.

Установку на фундамент можна проводити будь-яким наявним механізмом достатньої вантажопідйомності: мостовими кранами, тельферами, електроталями, автокранами, щоглами і т. д. При відсутності зазначених механізмів в зоні монтажу можуть бути застосовані ручні талі, домкрати та інші прості такелажні пристрої.

Встановлений апарат піддається вивірці по осях, висотним відміткам і орієнтації штуцерів і патрубків щодо комунікацій.

Допустимі відхилення по осях і висоті лежать в межах ± 2 мм для апаратів, що стоять групами, і ± 5 мм для окремо розташованих апаратів.

Під час вивірення апаратів за базу приймають фланці горловини і штуцери. Вивірка апарату здійснюється: по осях за допомогою нівеліра або гідростатичного рівня: по відстані між апаратами – за допомогою сталевої рулетки.

Основна увага при монтажі має приділятися щільності фланцевих з'єднань. Установка прокладок на місце повинна проводитися дуже ретельно, робоча поверхня фланців повинна бути очищена від бруду та іржі. Для того щоб прокладка не змістити зі свого місця (при плоских фланцях), її прив'язують до фланця нитками.

Мідні і сталеві прокладки повинні бути прокалені і очищені від окалини, бруду та іржі. Поверхні металевих прокладок не повинні мати раковин, задирів, глибоких подряпин і інших пошкоджень. Ширина металевих прокладок повинна бути на 0,1–0,2 мм менше ширини паза. Паронітові прокладки перед установкою на місце проварюють в рослинній олії при температурі не вище 300 °С до їх розм’якшення.

Болти фланцевих з’єднань повинні бути справними, не мати зірваних і пошкоджених ниток різьблення; у головок болтів не допустимі підрізи і тріщини в місці переходу в тіло болта. Болти слід затягувати рівномірно спочатку

хрестоподібно під кутом 90°, а потім послідовно один за іншим по колу. При затягуванні болтів рекомендується користуватися ключами з обмежувачем зусилля затяжки. Під гайки болтів рекомендується ставити шайби (під гайки апаратів, які відчувають вібрації, слід ставити пружинні шайби).

Для апаратів, що працюють при тиску до 50 атм. і температурах до 435 °С, застосовуються болти, виготовлені зі сталі марок 35 і 40 і гайки зі сталі 25 і 30 по ГОСТ 1050-57.

Змонтований апарат піддається гідравлічним випробуванням та передається у експлуатацію.

4.2 Ремонт сушарки киплячого шару [16]

У процесі експлуатації технологічного обладнання спостерігаються відхилення від норми в роботі обладнання і вихід його з ладу. Для підтримки обладнання в робочому стані передбачена система технічного обслуговування і ремонтів. Передбачено капітальний і технологічний ремонти обладнання.

Технологічний ремонт – це ремонт, який здійснюється в процесі експлуатації для забезпечення працездатності обладнання, що складається в заміні і відновленні окремих його частин і їх регулювання. Заміна сальникової набивки в вузлах запірної арматури і печі грануляційного апарату.

Капітальний ремонт – це ремонт, який здійснюється з метою відновлення ресурсу обладнання з заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові, їх регулювання.

Технічне обслуговування (ТО) – це комплекс заходів, спрямованих на підтримку працездатності основного і допоміжного технологічного обладнання. ТО складається з комплексу робіт по виконанню операцій, пов'язаних з пуском і зупинкою апаратів, щомісячним відходом і наглядом за механізмами, а також ремонтів і направлено на підтримку обладнання в робочому стані.

Система ремонтів включає в себе технологічний огляд, поточний, середній і капітальний ремонти.

Розглянемо найбільш розповсюджені неполадки в роботі сушарки киплячого шару, а також способи їх усунення.

1. Не відбувається подачі матеріалу в апарат.

Причини неполадок: зупинка живильника або конвеєра через не справність електродвигуна.

Способи усунення: ліквідувати несправність живильника, конвеєра або бункера та відновити подачу матеріалу.

2. Різке падіння рівня в збірниках при нормальній подачі.

Причини неполадок: забивка комунікацій або зупинка насоса.

Способи усунення: очистити та промити комунікації, ліквідувати несправність насосу.

3. Підвищення рівня в збірнику.

Причини неполадок: несправність насосу.

Способи усунення: налагодити роботу насосу.

4. Підвищений гідравлічний опір шару гранул в апараті.

Причини неполадок: збільшення висоти киплячого шару. Утворення крупних агломератів та гранул.

Способи усунення: перевірити режим роботи апарату та налагодити роботу розвантажувального патрубка.

5. Відрив полум'я в топці.

Причини неполадок: швидкість газоповітряної суміші на виході з топки більше швидкості поширення полум'я.

Способи усунення: зменшити подачу газу та первинного повітря в топці.

6. Спостерігається проскакування полум'я в пальник топки апарата.

Причини неполадок: швидкість газоповітряної суміші на виході з топки менше швидкості поширення полум'я.

Способи усунення: збільшити подачу газу та первинного повітря.

7. Зниження інтенсивності перемішування та висоти киплячого шару в апараті.

Причини неполадок: забивка газорозподільної решітки; несправність компресора, ресивера.

Способи усунення: зупинити апарат та прочистити газорозподільну решітку; перевірити роботу компресора та ресивера.

8. Підвищення температури димових газів на виході з топок.

Причини неполадок: нестача первинного та вторинного повітря в топці.

Способи усунення: відрегулювати подачу первинного та вторинного повітря.

9. Підвищена вологість продукту на виході з апарату.

Причини неполадок: недостатня подача або температура теплоносія.

Способи усунення: відрегулювати подачу та температуру теплоносія.

10. Механічні неполадки обладнання.

Причини неполадок: зношування окремих деталей, корпусів апаратів тощо; несвоєчасний планово-попереджувальний ремонт; погане обслуговування.

Способи усунення: своєчасно проводити заміну деталей та дотримуватись графіку планово-попереджувального ремонту.

Капітальний ремонт сушарки киплячого шару складається з наступних операцій:

1. Роз'єднують фланцеві стики, знімається трубна обв'язка, оглядове скло, кришки люків, кришку апарату, верхню та нижню секції апарату, перфоровану газорозподільчу решітку.

2. Встановлюють заглушки. Очищують та промивають апарат і газорозподільчу решітку. Розбраковують деталі, дефектні деталі замінюються.

3. Виготовляють комплект прокладок. Встановлюють перфоровану решітку, прокладки, нижню частину апарату, верхню кришку апаратів, оглядові вікна, люки.

4. Знімають заглушки. З'єднують фланцеві стики та встановлюють трубну обов'язку. Випробовують апарат та здають його в експлуатацію, після заповнення відповідних ремонтних документів.

5 Охорона праці

Закон України «Про охорону праці»

Законодавство України про охорону праці являє собою систему взаємозв'язаних нормативно-правових актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Воно складається з Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, Закону України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів.

Базується законодавство України про охорону праці на конституційному праві всіх громадян України на належні, безпечні і здорові умови праці, гарантовані статтею 43 Конституції України.

Основоположним документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці», 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 державних органів відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Інші нормативні акти мають відповідати не тільки Конституції та іншим законам України, але, насамперед, цьому Законові [17].

Закон України “Про охорону праці”, прийнятий у 1992 році, вперше не лише в Україні, а й на теренах колишнього СРСР став таким правовим актом, який на відміну від норм охорони праці, що діяли в кодексах законів про працю Союзу РСР та союзних республік, орієнтує законодавство на захист інте-

ресів громадянина, віддаючи перевагу в цій важливій сфері правовому регулюванню на відміну від адміністративного, що існувало раніше. У листопаді 2002 р. Верховна Рада України прийняла нову редакцію цього закону. Закон "Про охорону праці" відповідає діючим конвенціям і рекомендаціям Міжнародної організації праці, іншим міжнародним правовим нормам у цій галузі. Згідно ст. 1 цього Закону "охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності" [18].

У статті 4 Закону України "Про охорону праці" зазначається, що засади державної політики в галузі охорони праці базуються на 10 основних принципах.

1. Пріоритет життя і здоров'я працівників, повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці.

Цей принцип вимагає від всіх суб'єктів господарювання того, щоб в разі реконструкції, модернізації виробництв, при розробці нових технологічних процесів передусім розглядалися питання впливу цих робіт на життя і здоров'я працівників. Економічна доцільність не повинна йти всупереч охороні праці. Роботодавець несе повну відповідальність за стан охорони праці на підконтрольних йому об'єктах господарювання.

2. 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.

3. Комплексне розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля.

4. Соціальний захист працівників, повне відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань.

5. Встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності.

6. Адаптація трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану.

Реалізація цього принципу стосується передусім створення робочих місць для інвалідів та інших людей з обмеженими можливостями.

7. Використання економічних методів управління охороною праці, участь держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству.

8. Інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці.

9. 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.

Основними суб'єктами охорони праці є роботодавець і працівник. Метою діяльності роботодавця є отримання прибутку, досягнення якомога більшого дуже часто можливо за рахунок економії на засобах захисту працюючих, нехтуванні умовами праці, наслідком чого будуть підвищені втома, травматизм, захворюваність працюючих. Така поведінка роботодавця веде до напруженості у трудовому колективі, конфлікту між роботодавцем і трудовим колективом. Але часто самі працівники свідомо або несвідомо йдуть на порушення

вимог охорони праці. Працівники в основному влаштовуються на роботу заради отримання заробітної плати, і коли виконання вимог безпеки праці, застосування засобів захисту веде до зменшення продуктивності праці, а отже і розміру зарплати, вони можуть ігнорувати вимогами безпеки, незважаючи на те, що така поведінка загрожує передусім їхньому життю і здоров'ю. Ігнорування безпекою може бути зумовлене також переоцінкою власного досвіду та майстерності, стресовим станом (депресією, збудженням, втомою), алкогольним чи наркотичним сп'янінням тощо.

Тому цей принцип спрямований на недопущення дій, що ведуть до людських жертв, травм, хвороб, як з боку роботодавців так і з боку працівників. Реалізація цього принципу можлива за допомогою громадських, профспілкових організацій і державних інституцій.

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

Участь України в діяльності міжнародних органів та організацій вимагає від неї вивчення закордонного досвіду охорони праці. З іншого боку така робота без сумніву сприяє підвищенню рівня виробничої безпеки на підприємствах різних галузей економіки, зменшенню рівня нещасних випадків та професійних захворювань, поліпшенню ефективності управлінської та контрольно-наглядової діяльності в галузі охорони праці [19].

З метою реалізації вищенаведених принципів, а також з метою чіткого визначення правовідносин між роботодавцем і працівником щодо питань охорони праці, які є однією із найважливіших суспільних проблем, правове поле Закону України "Про охорону праці" охоплює основні аспекти цих правовідносин, а сам закон містить 44 статті, об'єднаних у 8 розділів. Перший розділ містить загальні положення, які майже повністю було розглянуто вище. Решта розділів – це:

- Гарантії прав на охорону праці (розділ II, ст. ст. 5 – 12);
- Організація охорони праці (розділ III, ст. ст. 13 – 24);

- Стимулювання охорони праці (розділ IV, ст. ст. 25 – 26);

- Нормативно-правові акти з охорони праці (розділ V, ст. ст. 27 – 30);

- Державне управління охороною праці (розділ VI, ст. ст. 31 – 37);

- Державний нагляд і громадський контроль за охороною праці (розділ VII, ст. ст. 38 – 42);

- Відповідальність працівників за порушення законодавства про охорону праці (розділ VIII, ст. ст. 43 – 44) [2].

У розділі 2 "Гарантії прав громадян на охорону праці" передбачено інформувати працівника про умови праці; компенсувати за шкідливі умови праці; зафіксовано право працівника відмовитись від виконання робіт при загрозливому стані для його здоров'я та життя; забезпечувати соціальне страхування від нещасних випадків і профзахворювань (оплата з фонду соціального страхування); відшкодовувати власником шкоду, заподіяну працівникові на виробництві. В законі передбачено відшкодування моральної шкоди. У законі є статті про охорону праці жінок, неповнолітніх, інвалідів[20].

Закон «Про охорону праці» зобов’язує роботодавців забезпечити, а працівників користуватися відповідним спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями. Роботодавець зобов’язаний не допускати до роботи працівників, які відмовляються користуватися необхідними засобами індивідуального чи колективного захисту [18].

У розділі 3 "Організація охорони праці на виробництві" говориться про обов'язкове створення органів управління охороною праці на підприємстві для виконання керівництва, нагляду і навчання із питань охорони праці. В ст. 18 йдеться про обов'язкове навчання і інструктаж з охорони праці. Перевірка знань повинна здійснюватись 1 раз на рік для працівників небезпечних професій, 1 раз на 3 роки для всіх посадових осіб за переліком, встановленим Державним комітетом по нагляду за охороною праці. В ст. 19 мовиться про фінансування охорони праці. В розділі передбачено (ст.16) створювати на підприємствах комісії з питань охорони праці - рішення комісії носять рекомендацій-

ний характер. Ст.23 передбачає інформацію про стан охорони праці, яка повинна доводитись до всіх працівників підприємства, а також обов'язковий звіт перед статистичними органами держави.

Розділ 4 - "Стимулювання охорони праці". Економічне стимулювання охорони праці здійснюється згідно з колективним договором та законодавством. Відшкодування збитків від порушень охорони праці - державі і громадянам - згідно з діючим законодавством.

Розділ 5 - "Нормативно-правові акти з охорони праці" – відзначаються документи, що належать до нормативно-правових актів з охорони праці. Їх опрацювання, прийняття та скасування.

Розділ 6 - "Державне управління охороною праці" перелічує органи державного управління охороною праці: Кабінет Міністрів, спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці, міністерства та інші центральні органи виконавчої влади, а також місцеві держадміністрації, органи місцевого самоврядування - та визначає їх компетенцію. Організація наукових досліджень з проблем охорони праці здійснюється в межах національної програми науково-дослідними інститутами, а також різними проектно-конструкторськими установами та організаціями, вищими навчальними закладами та фахівцями.

Розділ 7 - "Державний нагляд і громадський контроль за охороною праці", що здійснюють спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці; спеціально уповноважений державний орган з питань радіаційної безпеки; спеціально уповноважений державний орган з питань пожежної безпеки; спеціально уповноважений державний орган з питань гігієни праці. Відмічаються їх права і відповідальність, а також соціальний захист посадових осіб цих органів. Вищий нагляд здійснює Генеральний прокурор та підпорядковані йому прокурори. Громадський контроль за додержанням законодавства про охорону праці здійснюють трудові колективи -

через уповноважених найманими працівниками з питань охорони праці та профспілки - через вибраних представників.

Розділ 8 - "Відповідальність за порушення законодавства про охорону праці" Передбачається дисциплінарна, адміністративна, матеріальна, кримінальна відповідальність згідно із законодавством. А також ст..43 передбачені штрафні санкції до юридичних та фізичних осіб за порушення законодавства про охорону праці.

Для практичної реалізації Закону були прийняті також такі підзаконні акти, затверджені постановою Кабінету Міністрів; "Про створення Національної Ради з питань безпечної життєдіяльності населення", "Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах і організаціях", Закон України “Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та профзахворювання, які спричинили втрату працездатності”, "Положення про порядок накладення штрафів на підприємства, установи і організації за порушення нормативних актів про охорону праці" тощо. Держгірпромнаглядохоронпраці розробив ще цілий ряд положень, що спрямовані на практичну реалізацію Закону України "Про охорону праці" [20].

Література

1. Вікіпедія. Купрум сульфат [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Хлорид_натрію
2. Деркач Ф. А. Хімія / Ф. А. Деркач. – Львів : Львівський університет, 1968. – 312 с.
3. Вікіпедія. Сушарки киплячого шару [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Сушарки_киплячого_шару
4. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
5. Головний сайт НУ Львівська політехніка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://lpnu.ua/research/scientific-developments-directory/tehnologichni-osnovy-vyrobnyctva-midnogo-kuporosu-z
6. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 432 с.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
8. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
9. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
10. Гинзбург А. С. Сушка пищевых продуктов в кипящем слое / А. С. Гинзбург, В. А. Резчиков. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 200 с.
11. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.
12. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.

13. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
14. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с.
15. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической прошышленностей / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.
16. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
17. Законодавство України про охорону праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.pu.org.ua/2%20Законодавство%20України%20про%20охорону%20праці.pdf
18. Основи законодавства з охорони праці. Правові та організаційні основи охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.dut.edu.ua/uploads/l_1333_28533440.pdf
19. Безпека праці та промислова санітарія: курс охорони праці для студентів інженерно-економічного напряму підготовки / К. Н. Ткачук, О. Л. Гуменюк, Т. П. Бивойно [та ін.]; За ред. К. Н. Ткачука і О. Л. Гуменюк – Чернігів : ЧДТУ, 2010. – 368 с.
20. Загальні питання охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.pu.org.ua/ЗАГАЛЬНІ%20ЛЕКЦІЇ%203%20ОХОРОНИ%20ПРАЦІ.pdf