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

Кафедра хімічної інженерії

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-72п

Однолько Віталій Сергійович

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:
канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

_____
підпис, дата

_____

СУМИ 2021

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

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

Курс 4 Група ХМдн-72п

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Однольку Віталію Сергійовичу

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

2 Вихідні дані: Розробити апарат киплячого шару продуктивністю 100 т/добу для сушіння частинок мідного купоросу. Початкова вологість матеріалу 8,0 %, а кінцева – 1,0 %. Початкова температура матеріалу становить 18°С. У якості теплоносія використовується повітря з початковою температурою 110°С. Діапазон розміру частинок матеріалу +1,0…+2,5 мм.

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

1. Технологічна схема установки – 1,0 арк.
2. Складальне креслення сушарки киплячого шару – 1,0 арк.
3. Складальне креслення корпусу – 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. 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.

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 2020 р.

Керівник _____ доц. Юхименко М.П.
підпис

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 46 с., 8 рис., 2 додатки, 19 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема блоку сушіння кристалів мідного купоросу, складальне креслення сушарки киплячого шару, складальне креслення корпусу сушарки – усього 3 аркуша графічної частини формату А1.

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

У роботі наведено теоретичні основи і особливості процесу сушіння у зваженому шарі частинок, обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів апарату; виконано розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, технологічні розрахунки процесу; визначено геометричні розміри сушарки; розраховано та підібрано допоміжне обладнання; виконано розрахунки апарату на міцність та герметичність; розглянуто особливості монтажу і ремонту апарату киплячого шару. Окремим розділом представлена «Охорона праці», де розглянуто безпеку експлуатації герметичних систем, що працюють під тиском.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, МІДНИЙ КУПОРОС, СУШАРКА, ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ГЕРМЕТИЧНА СИСТЕМА, ТИСК.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва мідного купоросу	7
1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу	9
1.3 Опис конструкції апарату та вибір основних конструкційних матеріалів	12
2 Технологічні і проектні розрахунки	16
2.1 Технологічні та енергетичні розрахунки	16
2.2 Конструктивні розрахунки	19
2.3 Визначення висоти киплячого шару	23
2.4 Гідравлічні розрахунки	24
2.5 Розрахунок та вибір допоміжного обладнання	25
3 Розрахунки апарату на міцність	27
3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки	27
3.2 Розрахунок на міцність корпусу газорозподільного пристрою	28
4 Монтаж і ремонт апарату	31
4.1 Монтаж сушарки киплячого шару	31
4.2 Ремонт сушарки киплячого шару	34
5 Охорона праці	37
Список використаних джерел	44
Додаток А – Схема реального процесу сушіння на діаграмі Рамзина	
Додаток Б – Специфікації до графічної частини	

Вступ

Мідний купорос є 5-водним сульфатом 2-валентної міді $CuSO_4 \times 5H_2O$ і являє собою гігроскопічний блакитний або синій порошок (рис. В1, а) чи кристали (рис. В1, б).

а б

Рисунок В1 – Товарний мідний купорос для цілей агротехніки у вигляді порошку (а) та кристалів (б)

У продаж для цілей агрокультури в дрібних приватних господарствах надходить розфасованим по 50–100 г або у флаконах.

Мідний купорос отруйний, відноситься до 3 класу небезпеки, оскільки володіє отруйною дією при попаданні на слизові або при попаданні всередину. Летальна доза 5 % розчину становить 30–50 мл, але сульфат міді в розчині або порошку здатний проникати всередину організму крізь шкіру при зворотному всмоктуванні поту. Тому всі роботи з мідним купоросом необхідно здійснювати із дотриманням запобіжних заходів. До цього препарату люди звикли, але він при недбалому використанні далеко не нешкідливий [1].

Застосування мідного купоросу в агрокультурі можливе різними способами у залежності від сезону і мети обробки. У всіх випадках використовуються розчини будь-якої з 3-х ступенів концентрації [2]:

1. «Випалювальні» 3–5 %, тобто 300–500 г на 10 л води – обробка у виняткових випадках для знезараження ділянки землі або боротьби із цвіл-

лю в будівельних конструкціях на ній. У першому випадку земля після обробки виводиться з сільгоспобороту не менше ніж на 1 рік.

2. Лікувально-профілактичні 0,5–1 %, тобто 50–100 г на 10 л води – для боротьби з грибковими захворюваннями і комахами-шкідниками (антракноз, клястероспоріоз, коккомикоз тощо), а також для дерев (обприскування та обробка ран на стовбурах і гілках).
3. Підкормо-удобрювально-профілактичні 0,2–0,3 % (2–3 г / 10 л води) – при появі симптомів мідного голодування рослин (хлорози листя, скручування кінчиків пагонів, інтенсивне кущіння тощо) та з профілактичною метою.

Для використання за пп. 2 і 3 краще заздалегідь приготувати 10 % матковий розчин (у щільно закритому посуді і в темному місці він може зберігатися довгий час) і розбавляти його водою в міру потреби [2].

Способи виробництва мідного купоросу розрізняють головним чином за видами сировини, яку застосовують. Основною сировиною для отримання мідного купоросу служить сірчана кислота і мідь: мідний брухт або відходи металообробної промисловості – стружка, тирса і т. п., а також відходи або продукти металургії міді – білий мат і окис міді, ватержакетний пил, шлакові відходів, електролітні розчини мідноектролітних заводів, цементний пил, який видобувається з рудничних вод та з колчеданових огарків тощо [3].

Дана кваліфікаційна робота являє собою комплексний навчально-дослідний та практичний проект, який виконано у відповідності до методичних вказівок [4] із представленням усіх регламентованих розділів.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва мідного купоросу

Спосіб виробництва мідного купоросу з окису міді і сірчистого газу заснований на взаємодії при 85–95°С суспензії окису міді у водному розчині мідного купоросу зі слабким сірчаним газом, що містить SO_2 і кисень. Відбросний сірчистий газ, якщо є така потреба, може розбавлятися повітрям. Це прискорює процес, оскільки концентрація SO_2 у газі не має істотного значення, а збільшення вмісту кисню прискорює реакцію. Сутність даного способу полягає у наступному. Сірку спалювали в печі між мідними листами. При цьому на поверхні міді виходило велика кількість сірчистої міді. Потім піч відкривали і продовжували нагрівання із доступом повітря (у разі необхідності), для того, щоб сірчиста мідь окислювалась в сірчанокислотну. Мідні листи виймали з печі, а утворений мідний купорос розчиняли у воді. Листи міді знову завантажували в піч і повторювали цей процес до тих пір, аж поки вся мідь не перетворювалася в мідні купорос. Розчин мідного купоросу упарювали в котлах і потім охолоджували в дерев'яних коритах, де і відбувалася кристалізація. Для отримання 1 т мідного купоросу витрачається 388 кг міді та 433 кг сірки [3].

Після чого утворені кристали $CuSO_4 \times 5H_2O$ спрямовують у відділення (блок) сушіння продукту. Технологічна схема блоку сушіння кристалів мідного купоросу представлена на рис. 1.1. Принцип роботи даного блоку полягає у наступному. Вихідні кристали розміром 1,0–2,5 мм із вологістю 8,0 % мас. надходять у бункери. Далі за допомогою шнекового живильника кристали подаються в сушарку псевдозрідженого шару, де відбувається їх підсушування. Атмосферне повітря, попередньо пройшовши фільтрове очищення, також нагнітається вентилятором у сушарку, але спочатку воно нагрівається в калорифері. Висушений до вологості 1,0 % мас. кристалічний продукт надходить на стрічковий транспортер, а потім за допомогою вертикального транспортера спрямовується в бункер сухого продукту.

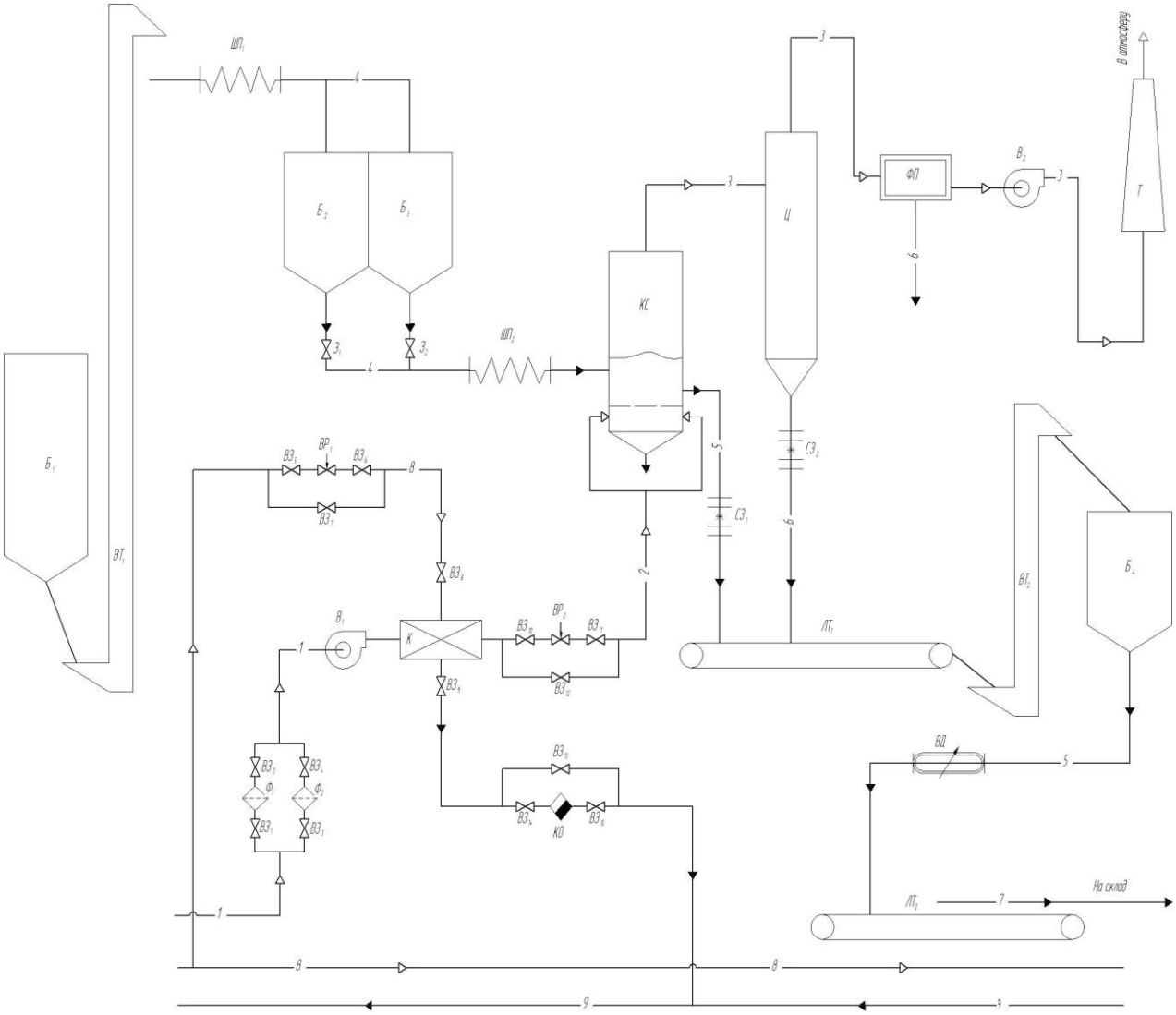

Рисунок 1.1 – Технологічна схема блоку сушіння кристалів мідного купоросу

Далі, пройшовши через ваговий дозатор, кристали відвантажуються на склад. На виході із сушарки псевдозрідженого шару передбачений циклон, у який і потрапляє відпрацьоване повітря. У циклоні відбувається уловлювання винесених з апарату дрібних частинок, після чого останні потрапляють на стрічковий транспортер. Після циклону повітря проходить додаткову фільтрацію в патронному фільтрі. Очищене повітря за допомогою вентилятору виводиться в атмосферу через вихлопну трубу.

1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу [4–8]

Процес сушіння за фізичною сутністю являє собою процес видалення вологи з матеріалів шляхом її випаровування і відведення утвореної пари. Відповідно апарати, в яких відбувається сушіння, називають сушарками. За способом передачі тепла розрізняють конвективні, контактні, терморадіаційні, сублімаційні і високочастотні сушарки.

Сушарки з киплячим шаром є одним із прогресивних типів апаратів для сушіння. Процес у киплячому шарі дозволяє значно збільшити поверхню контакту між частинками матеріалу і сушильним агентом, інтенсифікувати випаровування вологи з матеріалу. Сушарки з киплячим шаром в даний час успішно застосовують у хімічній технології не тільки для сушіння сильно сипучих зернистих матеріалів (наприклад, мінеральних чи органічних солей), а й матеріалів, схильних до комкування, наприклад, для сульфату амонію, полівінілхлориду, поліетилену і деяких інших полімерів, а також пастоподібних матеріалів (пігментів, анілінових барвників), розчинів, розплавів і суспензій.

Апарати з псевдозрідженим шаром зернистого матеріалу відрізняються великою різноманітністю, як за конструкцією, так і за гідродинамічними і тепловими режимам роботи. Їх можна класифікувати наступним чином:

– за кількістю зон – однокамерні і багатокамерні;

– за характером руху матеріалу – із направленим і ненаправленим рухом від місця завантаження матеріалу до місця його вивантаження;

– по використанню теплоносія – одноразове і багаторазове;

– по конфігурації сушильної камери – круглі, прямокутні і т. д.

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 $P_п$. Волога, що міститься у матеріалі, відповідає певному тиску водяної пари $P_м$, званому тиском водяної пари у вологому матеріалі.

При контакті матеріалу з вологим повітрям можливі три стани системи:

1) тиск водяної пари у вологому матеріалі $P_м$ більше, ніж його парціальний тиск в навколишньому повітрі або газі, тобто $P_м > P_п$. У цьому випадку відбувається десорбція вологи з матеріалу в навколишнє середовище, тобто процес сушіння. Тиск водяної пари в матеріалі $P_м$ 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 $P_п > P_м$. У цьому випадку відбувається сорбція вологи матеріалом, тобто процес зволоження матеріалу;

3) тиск водяної пари у вологому матеріалі і навколишньому середовищу рівні, тобто $P_м = P_п$. У цьому випадку настає динамічна рівновага, яка називається рівноважною вологістю W_p. Рівноважна вологість залежить від парціального тиску водяної пари $P_п$ 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.

Процес сушіння 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 із 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 $P_п$.

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:

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

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

$$x = \frac{G_п}{L}, \qquad (1.2)$$

де $G_п$ – масова витрата пари, кг/с;

L – масова витрата абсолютно сухого газу, 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 $H_п$:

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

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

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

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 $P_м - P_п$, тобто різницею тиску парів вологи у поверхні матеріалу $P_м$ і парціального тиску пари в повітрі $P_п$.

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.

1.3 Опис конструкції апарату та вибір основних конструкційних матеріалів

Сушарки зі зваженим (киплячим) шаром є найбільш прогресивними серед установок для сушіння дрібнодисперсних і сипучих матеріалів. Процес в підвішеному шарі дозволяє значно збільшити поверхню контакту між частинками матеріалу і сушильним агентом, інтенсифікувати випаровування вологи з матеріалу і скоротити до декількох хвилин тривалість сушіння. Найбільш поширені однокамерні сушарки безперервної дії (рис. 1.2) [9].

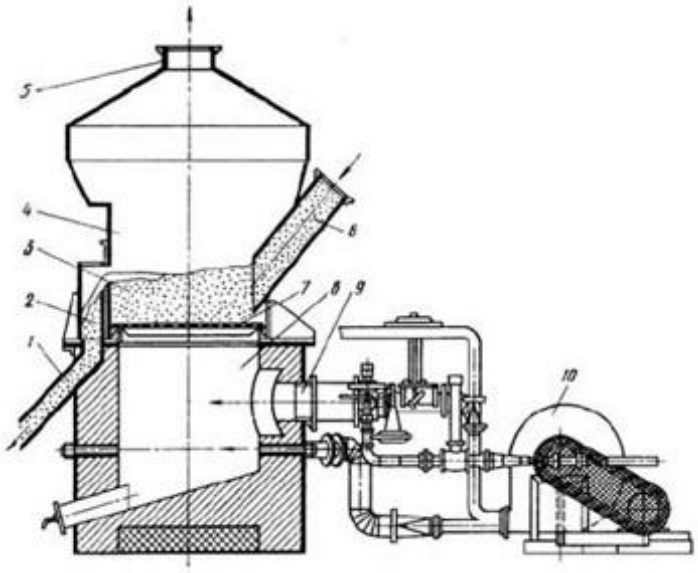

Рисунок 1.2 – Установка з апаратом киплячого шару:
1 – розвантажувальна тічка; 2 – перегородка; 3 – киплячий шар; 4 – камера; 5 – патрубок для виходу відпрацьованих газів; 6 – завантажувальна тічка; 7 – газорозподільна решітка; 8 – топка; 9 – пальник; 10 – вентилятор

Висушуваний матеріал подається в шар матеріалу, який «кипить» на газорозподільній решітці 7 в камері сушіння. Сушильний агент (гаряче повітря) проходить із заданою швидкістю через отвори решітки і видаляється через патрубок 5 сушильної камери.

Сушильна камера має розширений догори перетин, при цьому швидкість газу внизу камери повинна перевищувати швидкість осадження найбільших часток, а вгорі – бути меншою за швидкість осадження найдрібніших частинок.

Правильний вибір матеріалів і технології виготовлення апаратів сприяє збільшенню тривалості їх ефективної експлуатації, зниженню трудомісткості їх виготовлення та собівартості. Вибір матеріалів 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 [10–11].

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 5520-2017 та ГОСТ 19281-2014.

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.

2 Технологічні і проектні розрахунки

2.1 Технологічні та енергетичні розрахунки

При інженерному розрахунку установок зі зваженим шаром спочатку графоаналітичним способом визначають основні параметри процесу сушіння. Далі розраховують необхідну для створення зваженого шару швидкість сушильного агенту, визначають діаметр сушарки і висоту киплячого шару. Потім знаходять повну висоту апарату та його гідравлічний опір. На закінчення розрахунку вибирають вентиляційне обладнання [12].

Для початку приймаємо середньорічну температуру повітря t_{B0} = 7°С з відносною вологістю φ_{B0} = 75 %.

За діаграмою Рамзина (див. Додаток А) параметри повітря перед калорифером X_0 = 0,006 кг/кг і I_0 = 20 кДж/кг. Тоді параметри повітря в калорифері становитимуть tвн = 110°С, X_B = 0,006 кг/кг, I_B = 132 кДж/кг.

Приймаємо кінцеву температуру повітря t_{BK} = 70°С (за практичними даними).

При теоретичному процесі сушіння питома теплота визначається з наступного рівняння:

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

де $X_{ВИХ}$ – вміст вологи в повітрі на виході з сушарки при теоретичному процесі, кг/кг. За діаграмою Рамзина $X_{ВИХ}$ = 0,022 кг/кг.

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

У реальній сушарці кінцевий вміст вологи X_K буде меншим $X_{ВИХ}$. 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 $X_{ВИХ}$, визначаємо I, попередньо розрахувавши вологу, що випаровується W, і поправку Δq для реального процесу.

Витрати вологи, що випаровується:

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

$$W = 100 \cdot 1000/(24 \cdot 3600) \cdot (0{,}08 - 0{,}01) = 0{,}081\ (кг/с).$$

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

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

де c_M – питома теплоємність мідного купоросу; $c_M = 340$ Дж/(кг·К).

$$q_{МАТ} = \frac{1{,}16 \cdot 340 \cdot (60 - 18)}{0{,}081} = 204504\ (Дж/кг).$$

Для розрахунків приймаємо, що теплові втрати у навколишнє середовище складають 10 %:

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

Різниця температур в теоретичній і реальній сушарках:

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

$$\Delta q = 204504 + 700000 - 5000 \cdot 7 = 869504 \text{ (Дж/кг)}.$$

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

$$I = 132000 - 869504 \cdot (0{,}01 - 0{,}006) = 128522 \text{ (Дж/кг)}.$$

Виходячи з діаграми Рамзина (див. Додаток А), визначаємо вміст вологи в повітрі на виході із сушарки. Для цього проведемо лінію через дві точки:

– X_B = 0,006 кг/кг; I_B = 132 кДж/кг;

– X = 0,01 кг/кг; I = 128 кДж/кг.

Там де відбувся перетин з ізотермою t_{BK} = 70°C – знаходимо вологовміст повітря, що залишає сушарку. Таким чином, X_K = 0,017 кг/кг.

Витрата сухого теплоносія в сушарці:

$$G_C = \frac{W}{X_K - X_0}; \qquad (2.6)$$

$$G_C = \frac{0{,}081}{0{,}017 - 0{,}006} = 7{,}36 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата вологого теплоносія на виході із сушарки:

$$V_B = v_{УД} \cdot G_C; \qquad (2.7)$$

$$v_{УД} = \frac{R_B \cdot T}{P - \phi_в \, p_{нас}} = \frac{287 \cdot (273 + 70)}{100000 - 0{,}75 \cdot 32200} = 1{,}298 \text{ (м}^3\text{/кг)};$$

$$V_B = 1{,}298 \cdot 7{,}36 = 9{,}55 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Знаходимо першу критичну швидкість:

$$\omega_{\text{КР}} = \frac{\text{Re}_{KP} \cdot \mu_{CP}}{d_E \cdot \rho_{CP}}. \tag{2.8}$$

Визначаємо критерій Рейнольдса за рівнянням [12]:

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

де Ar – критерій Архімеда.

$$Ar = \frac{d_E^3 \cdot \rho_{CP} \cdot g \cdot \rho_Ч}{\mu_{CP}^2}, \tag{2.10}$$

де $\rho_Ч$ =3500 кг/м^3 – щільність матеріалу.

$$Ar = \frac{0,0018^3 \cdot 1,1 \cdot 9,81 \cdot 3500}{\left(2,2 \cdot 10^{-5}\right)^2} = 455095.$$

$$\text{Re}_{KP} = \frac{455095}{18 + 5,22 \cdot \sqrt{455095}} = 129.$$

Підставивши в рівняння (2.8), отримаємо:

$$\omega_{\text{КР}} = \frac{129 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0018 \cdot 1,1} = 1,43 (\text{м/с}). \tag{2.11}$$

Друга критична швидкість визначається за допомогою критеріального рівняння [12]:

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

$$\omega_{\text{УН}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5}}{0,0018 \cdot 1,1} \cdot \left(\frac{455095}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{455095}} \right) = 12\,(\text{м/с}).$$

Робочу швидкість сушильного агента вибирають в інтервалі від першої до другої критичної швидкості.

Робоча швидкість сушильного агента становить [12]:

$$\omega_P = K_\omega \cdot \omega_{KP}\,, \qquad (2.13)$$

де K_ω = 1,4 – число псевдозрідження.

$$\omega_P = 1,4 \cdot 1,43 = 2,0\,(\text{м/с}).$$

Діаметр решітки сушарки визначаємо за рівнянням:

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

$$D = \sqrt{\frac{9,55}{0,785 \cdot 2,0}} = 2,466\,(\text{м}).$$

Приймаємо стандартизоване значення D = 2,5 м.

Тоді площа решітки складе:

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 2,5^2 = 4,9\,м^2. \qquad (2.15)$$

Діаметр сепараційного простору повинен бути більше в 1,2 рази від діаметру газорозподільної решітки [12]:

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

Тоді кут конусності обичайки складе:

$$\alpha = arctg\left(\frac{D_C - D}{H_{ЗАГ}}\right) = arctg\left(\frac{3 - 2,5}{2}\right) = 14^0,$$

де $H_{ЗАГ}$ – 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 у діапазоні 5–15 м/с [12].

Діаметр штуцера для входу і виходу повітря:

$$d_1 = \sqrt{\frac{9,55}{0,785 \cdot 12}} = 1,0\,(м).$$

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

2.3 Визначення висоти киплячого шару

Висота киплячого шару [12]:

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

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:

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

$$\mathrm{Re}_P = \frac{2,0 \cdot 0,0018 \cdot 1,1}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 180.$$

Тоді ε_{CP} дорівнює:

$$\varepsilon_{CP} = \left(\frac{18 \cdot 180 + 0,36 \cdot 180^2}{455095} \right)^{0,21} = 0,49.$$

Можемо визначити висоту киплячого шару:

$$H = \frac{1-0,4}{1-0,49} \cdot 0,2 = 0,24 (\text{м}).$$

Діаметри отворів в решітці визначаються за формулою [12]:

$$d_0 = \frac{H}{80}; \tag{2.20}$$

$$d_0 = \frac{0,24}{80} = 0,003\,(\text{м}).$$

Число отворів у розподільній решітці визначаємо за рівнянням [12]:

$$n = \frac{D^2 \cdot F_c}{d_0^2}, \tag{2.21}$$

де F_c=0,04 – живий перетин решітки.

$$n = \frac{2,5^2 \cdot 0,04}{0,003^2} = 27778\,(\text{шт.}).$$

Висоту сепараційного простору сушарки з киплячим шаром приймаємо у 7 разів більше висоти киплячого шару [12]:

$$H_c = 6 \cdot H = 7 \cdot 0,24 = 1,68\,(\text{м}). \tag{2.22}$$

Загальна висота апарату над решіткою:

$$H_{ЗАГ} = H_c + H = 1,68 + 0,24 = 1,92\,(\text{м}). \tag{2.23}$$

Приймаємо $H_{ЗАГ}$=2 м.

2.4 Гідравлічні розрахунки

Основну статтю загального гідравлічного опору сушарки становить гідравлічний опір псевдозрідженого шару і решітки [13]:

$$\Delta P = \Delta P_{ПС} + \Delta P_{P}. \tag{2.24}$$

Величину опору псевдозрідженого шару знаходимо за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{ПС}} = \rho_{Ч} \cdot (1-\varepsilon) \cdot g \cdot H; \tag{2.25}$$

$$\Delta P_{ПС} = 3500 \cdot (1-0,49) \cdot 9,81 \cdot 0,24 = 4203\,(\text{Па}).$$

Мінімально допустимий опір решітки становить [13]:

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

$$\Delta P_{P\min} = \frac{4203 \cdot 1,4^2 \cdot (0,49-0,4)}{(1,4^2-1) \cdot (1-0,4)} = 1287\ (\text{Па}).$$

Гідравлічний опір газорозподільної решітки [13]:

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

Приймаємо коефіцієнт опору решітки $\xi = 1,8$ [13].

$$\Delta P_P = 1{,}8 \cdot \left(\frac{2{,}0}{0{,}04}\right)^2 \cdot \frac{1{,}1}{2} = 2475\,(\text{Па}).$$

Загальний гідравлічний опір проектованої сушарки:

$$\Delta P = 4203 + 2475 = 6678(\text{Па}).$$

2.5 Розрахунок та вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір циклону [12]. Циклони вибираються у залежності від необхідного ступеня уловлювання частинок, розміру і властивостей частинок, вологості, температури. Ступінь очищення газу залежить від діаметра циклону і розміру частинок.

Найбільш поширеною конструкцією циклонів є циклон серії ЦН-15 [12].

Визначаємо діаметр циклону:

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

де V – секундна витрата повітря, $м^3/с$;

ω_y – умовна швидкість повітря, яка знаходиться з рівняння:

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

де $\Delta P / Y_r$ залежить від продуктивності і знаходиться в межах 55–75 [12].

Приймаємо $\Delta P / Y_r = 70$.

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

де ξ = 100 – коефіцієнт місцевого опору циклонів ЦН-15 [12].

$$\omega_y = \sqrt{\frac{70 \cdot 2 \cdot 9{,}81}{100}} = 3{,}7\,(\text{м/с});$$

$$\text{D} = \sqrt{\frac{9{,}55}{0{,}785 \cdot 3{,}7}} = 1{,}813\,(\text{м}).$$

Таким чином, приймаємо 2 циклони ЦН-15 діаметром 1000 мм.

Бункер для вологого матеріалу. Об'єм бункеру визначаємо за формулою [12]:

$$V_n = \frac{G_u \cdot \tau}{\rho_3 \cdot \varphi}, \qquad (2.31)$$

де G_u – кількість вологого матеріалу;

τ – тривалість робочої зміни; приймаємо τ = 6 год.;

ρ_3 – щільність матеріалу;

φ – коефіцієнт заповнення ємності; приймаємо φ=0,9.

$$V_n = \frac{0{,}8 \cdot 6 \cdot 3600}{3500 \cdot 0{,}9} = 5{,}49\,(\text{м}^3).$$

Таким чином, приймаємо бункер діаметром 1,4 м, висотою 4,0 м і загальним об'ємом 6,2 м^3.

3 Розрахунки апарату на міцність

3.1 Розрахунок на міцність корпусу сушарки

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

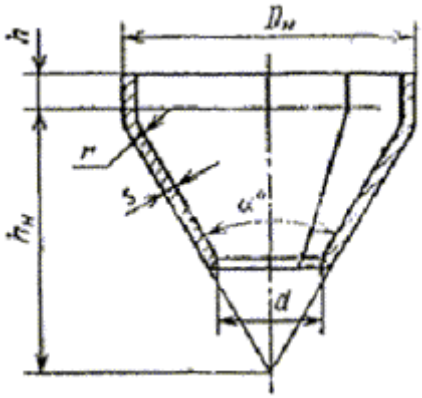

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема конічної обичайки

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;

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

$$S_{к.р} = \frac{0{,}1 \cdot 3}{2 \cdot \cos 14^0 \cdot 135 \cdot 1} = 1{,}15 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Виконавча товщина стінки корпусу:

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

$$S = 1{,}15 \cdot 10^{-3} + 1{,}0 \cdot 10^{-3} = 2{,}15 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Приймаємо товщину стінки обичайки S=3 мм.

Допустимий тиск для корпусу сушарки:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot \cos 14^0 \cdot 135 \cdot 1 \cdot (3-1) \cdot 10^{-3}}{3 + 2 \cdot \cos 14^0 \cdot (3-1) \cdot 10^{-3}} = 0{,}174 \ (МПа)$$

Умова міцності корпусу виконується.

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.

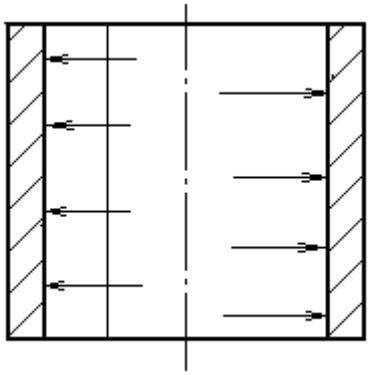

Рисунок 3.2 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

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:

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

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

Так само приймаємо товщину обичайки S=3 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск визначимо за формулою:

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

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

Оскільки $\left[p_{П}\right]$ > P (0,216 > 0,1) – умова виконується, а, отже, і достатня міцність забезпечується.

Перевіряємо умови застосовуваності формул:

$$\frac{S-C}{D}\le 0{,}1; \tag{3.8}$$

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

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

Безпека експлуатації герметичних систем, що працюють під тиском.

Герметичність пристроїв і установок – це властивість не пропускати через стінку, з'єднання та інші елементи конструкції рідини і гази, які в них містяться. Герметичність забезпечує створенням умов, що необхідні для проведення відповідних технологічних процесів, а у ряді випадків є умовою забезпечення безпеки праці. Це, перш за все, відноситься до всіх систем, що працюють під тиском, не рівним атмосферному: компресорів, стаціонарних установок, балонів, газо- і трубопроводів, а також вакуумних установок [17].

Розгерметизація може привести до виникнення в робочій зоні ряду небезпечних і шкідливих факторів (токсичної пари і газів, іонізуючих випромінювань (якщо робоче тіло радіоактивне), теплових випромінювань при високо- і низькотемпературних робочих тілах), а також переміщенню розгерметизованих ємностей в просторі, різкого підвищення тиску, обвалення будівельних конструкцій та обладнання під час вибуху [17].

Таким чином, розгерметизація може бути причиною отруєнь, опіків (як теплових, так і хімічних), радіоактивного опромінення, механічного травмування тощо [17].

У виробництві використовуються речовини, які здатні утворювати вибухонебезпечне середовище. Це, перш за все, пари різного роду мастильних речовин, горючі гази, які використовуються в системах газопостачання підприємств, водень. Усі ці пари і гази активно вступають в реакцію з киснем. Але окислювачем може бути не тільки кисень, але і інші хімічні елементи і з'єднання (озон, фтор, хлор, оксиди азоту тощо). Вибухонебезпечне середовище можуть утворювати також пил і речовини, схильні до вибухового розкладання (ацетилен, гідрозин, озон, аміачна селітра і т. п.). Вибухобезпека повинна бути забезпечена заходами вибухопопередження і вибухозахисту, організаційними і організаційно-технічними заходами [17].

Для попередження вибуху необхідно виключити утворення вибухонебезпечного середовища і виникнення джерела ініціювання вибуху. Попередження утворення вибухонебезпечного середовища і забезпечення в повітрі виробничих приміщень утримання вибухонебезпечних речовин, що не перевищує нижньої концентраційної межі займання, має досягатися [18]:

– контролем складу повітряного середовища;

– застосуванням герметичного виробничого устаткування;

– застосуванням робочої та аварійної вентиляції;

– відведенням вибухонебезпечного середовища.

Вибухозахист – це система заходів, що запобігають впливу на людей небезпечних і шкідливих факторів, що виникають в результаті вибуху. Вона включає [18]:

– застосування обладнання, розрахованого на тиск вибуху;

– застосування гідрозатворів, водяних заслонів, інертних газових або парових завіс;

– захист апаратів від руйнування під час вибуху за допомогою пристроїв аварійного скидання тиску (запобіжні мембрани і клапани, швидкодіючі відсічені і зворотні клапани і т. д.).

Запобіжні мембрани [18] прості за конструкцією і тому вважаються найнадійнішими із запобіжних пристроїв. Мембрани бувають розривні, зрізані, ляскаючі та ін. Найбільш прості розривні мембрани, що виготовлені з тонколистового металевого прокату (рис. 5.1).

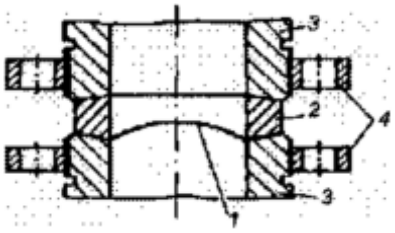

Рисунок 5.1 – Розривна мембрана: 1 – мембрана; 2 – конічна шайба; 3 – скидна магістраль; 4 – з’єднувальні фланці

При навантаженні робочим тиском мембрана пластично деформується і набуває форму сферичного сегменту. При перевищенні допустимого тиску мембрана розривається, і тиск із посудини скидається, запобігаючи тим самим його вибуховому руйнуванню.

Однак недоліком мембрани є та обставина, що після її розриву обладнання залишається відкритим і необхідно зупиняти технологічний процес, щоб замінити мембрану.

Вибухові клапани [18] (рис. 5.2) позбавлені цього недоліку, оскільки при скиданні тиску запірний диск 2 знову закривається під дією пружини 3. Однак вибухові клапани мають невисоку герметичність і застосовуються при невисоких робочих тисках, як правило, близьких до атмосферного.

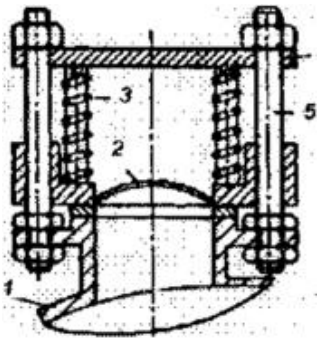

Рисунок 5.2 – Вибуховий клапан: 1 – посудина, що захищається; 2 – запірний диск; 3 – пружина; 4 – кільце; 5 – штанга

Пружинні клапани [18] (рис. 5.3) характеризуються високою герметичністю і можуть застосовуватися при високому тиску. Однак вони менш надійні, схильні до впливу агресивних середовищ, можуть забиватися відкладеннями робочих середовищ, володіють великою інерційністю. Тому за ними потрібен постійний догляд і контроль.

Кожна судина і самостійна порожнина з різним тиском повинні бути забезпечені манометрами (приладами для вимірювання тиску). Манометри повинні мати клас точності не нижче 2,5 – при робочому тиску до 2,5 МПа і 1,5 – при робочому тиску понад 2,5 МПа [18].

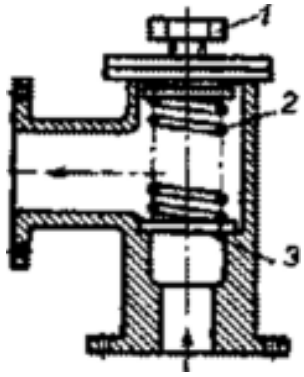

Рисунок 5.3 – Пружинний клапан:

1 – регулюючий гвинт; 2 – пружина; 3 – клапан

Причини аварій і нещасних випадків при роботі компресорів і умови безпеки їх експлуатації [17].

Вибух компресорів може бути наслідком перегріву його стінок, підвищення робочого тиску, виникнення на корпусі зарядів статичної електрики, загоряння і вибуху суміші парів мастильного матеріалу з повітрям, гідравлічного удару (в циліндрах компресорів, холодильних установках).

Небезпека перегріву елементів конструкції компресора пов’язана перш за все з тим, що при стисненні будь-яких газів їх температура підвищується і тим більше, чим більше ступінь стиснення. Крім того, вона обумовлена утворенням «нагару» на стінках циліндру, клапанних пристроїв і трубопроводів, що представляє собою суміші твердих продуктів розкладання мастил. Нагар збільшує тертя і призводить до місцевих перегрівів, які ініціюють вибух.

Перевищення робочого тиску найчастіше пояснюється відсутністю або несправністю контрольно-вимірювальної апаратури, порушенням правил експлуатації компресору.

У компресорах холодильних установок можливі конденсація використовуваних в циліндрі легкостискних газів і виникнення гідравлічного удару, що може бути причиною його руйнування.

Безпека експлуатації компресорів досягається суворою регламентацією виду застосовуваного мастильного матеріалу, пристроєм систем охолодження і очищення робочих тіл.

До заходів щодо усунення гідравлічних ударів відноситься забезпечення безперервного або періодичного відведення сконденсованої рідини з холодильників, а також контроль відносної вологості повітря, що засмоктується в компресор (повинна бути не більше 60 %). Для підтримки необхідного тиску використовують запобіжні пристрої – клапани відкритого і закритого типу.

Усі рухомі частини компресора з приводом захищають.

Для виключення помилкових дій обслуговуючого персоналу до обслуговування компресорів допускаються машиністи і апаратники, які пройшли спеціальну підготовку, склали іспити і мають відповідні посвідчення.

Причини аварій стаціонарних судин, газових балонів, газо- і трубопроводів [19].

Ці причини дуже різноманітні і можуть бути розділені на конструкторські, технологічні та експлуатаційні.

До конструкторських причин відносяться неправильний вибір конструкції або окремих її елементів, відсутність перевірочного розрахунку на міцність.

До технологічних причин відносяться поява дефектів конструкції, які знижують її характеристики. Це ливарні раковини, непровари, газові пори і шлакові включення зварних з’єднань, дефекти заклепок, внутрішні та зовнішні тріщини, пропали. Усі вони в значній мірі обумовлюють ймовірність розгерметизації системи під тиском.

До експлуатаційних причин відносяться:

– порушення режимів експлуатації (перевищення допустимих значень тисків, температур), у тому числі внаслідок помилкових дій персоналу або через відсутність контрольних приладів;

– побічні процеси в пристроях і установках (корозія, утворення накипу); розширення рідин в замкнутих об’ємах внаслідок нагрівання;

– зміна міцнісних властивостей конструкційних матеріалів в умовах низьких температур;

– утворення суміші «пальне – окислювач».

Вибух балонів зріджених газів може статися при заповненні їх робочим тілом, для якого вони не призначені.

Стосовно до систем трубо- і газопроводів причиною розгерметизації може бути замерзання конденсату, деформація внаслідок теплових розширень.

Із урахуванням названих причин аварій систем, що працюють під тиском, правила Держтехнагляду встановлюють вимоги до пристрою і безпечної їх експлуатації.

Для виявлення технологічних факторів розгерметизації судини і апарати, що працюють під тиском, перед пуском в експлуатацію, а також періодично піддають огляду і випробувань. При цьому здійснюють внутрішній огляд всіх судин.

Газо- і трубопроводи також повинні мати сигнальне пофарбування.

Важливим заходом, що сприяє виявленню появи газу в повітрі робочої зони, є надання йому запаху (одоризація).

Газопроводи прокладають із невеликим ухилом в бік руху газу, а буферну ємність постачають у нижній частині спускною трубкою з краном для систематичного видалення водяного конденсату і масла.

Паропроводи забезпечують конденсатовідвідниками, які дозволяють запобігти виникненню гідравлічних ударів і пробок.

До експлуатації установок і посудин, що працюють під тиском, допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання і атестацію і мають посвідчення на право їх обслуговування.

У системах, що працюють під тиском, використовують різні контрольні прилади. Це, перш за все, манометри для вимірювання тиску.

За необхідності зниження тиску газу або повітря при їх відборі з балону або ємності застосовують редукційні клапани.

Для контролю температури в установках під тиском повсюдно використовують термометри, а також термопари. Для контролю наявності рідини в котлах та подібних до них установках застосовують покажчики рівня рідини.

Список використаних джерел

1. Купрум сульфат. Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%BC_%D1%81%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0%D1%82
2. Медный купорос: как разводить раствор, опрыскивание, чем полезен для растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://udobreniya.info/obrabotka/mednyj-kuporos/
3. Справочник химика 21. Сырье и способы производства медного купороса [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://chem21.info/page/066031151180141074013253106073066120188133062145/
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. Сушарки киплячого шару. Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org
6. Головний сайт НУ Львівська політехніка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://lpnu.ua/research/scientific-developments-directory/tehnologichni-osnovy-vyrobnyctva-midnogo-kuporosu
7. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 432 с.
8. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок / П. Д. Лебедев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.
9. Сушилка со взвешенным (кипящим) слоем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://forpsk.ru/index.php/stati/oborudovanie/115-sushilka-vzveshennogo-sloya

10. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
11. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
12. 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.
13. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 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. Безопасность эксплуатации герметичных систем работающих под давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studfile.net/preview/5616230/page:18/
18. Обеспечение безопасности герметичных систем, работающих под давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studref.com/575119/bzhd/obespechenie_bezopasnosti_germetichnyh_sistem_rabotayuschih_davleniem

19. Методы обеспечения безопасности герметичных систем, работающих под давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://erx7.narod.ru/index/0-67