

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ"**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

*ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ НА ТЕМУ
"РОЗРАХУНОК ОДНОКОРПУСНОЇ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ"*
**З КУРСУ "ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ" ДЛЯ СТУДЕНТІВ ІV – V КУРСІВ
УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ І ФОРМ НАВЧАННЯ**

Дніпропетровськ УДХТУ 2009

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

***ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ НА ТЕМУ
"РОЗРАХУНОК ОДНОКОРПУСНОЇ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ"***
З КУРСУ "ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ" ДЛЯ СТУДЕНТІВ IV – V КУРСІВ
УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ І ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри ПАХТ.
Протокол № 1 від 29.08.08.

Дніпропетровськ УДХТУ 2009

Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему "Розрахунок однокорпусної випарної установки" з курсу "Основні процеси та апарати хімічної технології" для студентів IV – V курсів усіх спеціальностей і форм навчання / Укл.: Т.Ю. Гіріч, В.М. Задорожній, Т.П. Єльцова. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2009. – 36 с.

Укладачі: Т.Ю. Гіріч, канд. техн. наук
В.М. Задорожній, канд. техн. наук
Т.П. Єльцова

Відповідальний за випуск П.Г. Сорока, д-р техн. наук

Навчальне видання
Методичні вказівки
до виконання курсового проекту на тему
"Розрахунок однокорпусної випарної установки"
з курсу "Основні процеси та апарати хімічної технології"
для студентів IV – V курсів усіх спеціальностей і форм навчання

Укладачі: ГІРІЧ Тамара Юхимівна
ЗАДОРЖНІЙ Володимир Михайлович
ЄЛЬЦОВА Тетяна Петрівна

Редактор Л.М. Тонкошкур
Коректор О.О. Чибук

Підписано до друку 17.07.09. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов.-друк. арк. 1,63. Облік.-вид. арк. 1,68. Тираж 100 прим. Замовлення №155.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

Методичні вказівки призначені для студентів усіх спеціальностей і форм навчання, що вивчають курс “Процеси та апарати хімічної технології”.

В роботі наведені рекомендації до виконання курсового проекту з розділу “Випарювання”.

Методичні вказівки розроблені з метою допомоги студентові в роботі над спеціальною літературою, стандартами, нормативами, оволодіти методиками технологічних, конструктивних та інших розрахунків випарних апаратів та допоміжного обладнання, їх графічного зображення, які передбачені при виконанні курсового проекту з розділу “Випарювання”.

Для виконання курсового проекту студенту видається завдання на проектування, варіант якого студент вибирає в методичних вказівках [10, 11]. В завданні, як правило, вказані: назва установки, її продуктивність, початкова та кінцева концентрації випарюваного розчину, тиск або температура теплоносія, недостатні дані для розрахунку студент обґрунтовано приймає самостійно.

Курсовий проект – комплект конструкторських документів, до яких належать текстова частина та графічні документи.

Обсяг курсового проекту – пояснювальна записка та два листи (формату А1) креслень: технологічна схема установки та загальний вид апарата, які виконуються згідно вимогам оформлення конструкторської документації. Вимоги до оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу наведені в методичних вказівках [1].

Пояснювальна записка повинна включати в себе такі розділи:

1. Вступ;
2. Загальна частина;
3. Технологічний розрахунок установки;
4. Конструктивний розрахунок апарата, який проектується;
5. Гідравлічний розрахунок апарата, який проектується;
6. Механічний розрахунок апарата, який проектується.

В кінці розрахунково-пояснювальної записки наводиться список використаної літератури.

Зміст розділів пояснювальної записки.

В розділі “Вступ” наводиться повна характеристика розчиненої речовини розчину, який випарюється в установці, а саме:

1.1. фізико-хімічні властивості – хімічна формула, молекулярна маса, температури плавлення, кипіння, розкладу, розчинність, густина, теплопровідність, теплоємність, а також корозійні властивості та реакційну здатність;

1.2. народногосподарське значення розчиненої речовини розчину, основні методи її виробництва та застосування в народному господарстві.

В “Загальній частині” розглядаються такі питання:

2.1. обґрунтування та вибір способу концентрування на основі загальних відомостей про процес випарювання та характеристика існуючих способів випарювання,

2.2. фізико-хімічні основи процесу випарювання;

- 2.3. вибір та обґрунтування прийнятої до проектування технологічної схеми установки на основі аналізу існуючих;
- 2.4. технологічна схема процесу та опис роботи установки;
- 2.5. вибір недостаючих технологічних параметрів процесу, якщо вони не задані, а саме робочих умов процесу, концентрації розчинів та інше;
- 2.6. вибір конструкції апарата, який проектується та його устрій;
- 2.7. вибір матеріалу корпусу та вузлів апарата.

В розділі “Технологічний розрахунок установки” виконуються основні технологічні розрахунки згідно існуючих рекомендацій [4,5], а саме:

- 3.1. матеріальний баланс процесу та визначення кількості отриманого концентрованого розчину та розчинника;
- 3.2. температурний режим роботи установки – визначення температурних втрат, загальної та корисної різниці температур;
- 3.3. тепловий баланс установки та визначення витрати гріючого агента та охолоджуючої води на конденсацію вторинної пари.

В розділі “Конструктивний розрахунок” визначаються:

- 4.1. теплове навантаження апарата;
- 4.2. коефіцієнт теплопередачі;
- 4.3. поверхня теплопередачі;
- 4.4. основні розміри проектного апарата, які забезпечують необхідне теплове навантаження [4,5,9], на основі чого підбирається стандартний апарат за таблицями Держстандарту [5].

В розділі “Гідравлічний розрахунок” визначається гідравлічний опір апарата, який проектується, що необхідно для визначення енергетичних витрат на транспортування технологічних потоків по апарату [5]. Це дозволяє вибрати відповідне допоміжне устаткування: насос, компресор, вакуум-насос, вентилятор, тощо.

В розділі “Механічний розрахунок” виконуються розрахунки на міцність основних вузлів і деталей апарата, який проектується; розрахунки товщини стінки оболонки корпусу апарата, товщини кришки, або днища, трубною решітки, фланцевих з'єднань, підбір опор [5,6].

Технологічна схема установки наводиться принципова, з зображенням усіх машин і апаратів, необхідних для проведення процесу без дотримання масштабу, але без порушення співвідношення їх габаритних розмірів. Апарати з'єднуються технологічними (матеріальними і енергетичними) потоками. Апарати та технологічні потоки зображують основними контурними лініями.

Загальні вимоги до оформлення технологічної схеми наведені в методичних вказівках до оформлення курсових проектів [1].

Трубопроводи та пристрої, які забезпечують функціональний зв'язок між апаратами на схемі не повинні перехрещуватись, тому при перетині технологічних ліній на вертикальній лінії повинно зображати обвід.

Магістральні трубопроводи доцільно розміщувати нижче або вище основного обладнання, до якого підходить розводка трубопроводів.

На основних технологічних трубопроводах необхідно навести технічні характеристики середовища в трубопроводі: витрата, концентрація, тиск,

температура. Ці дані вносять у накреслені тонкою лінією прямокутні рамки, які з'єднують тонкою лінією з лінією потоку.

Графічні умови зображення апаратів, арматури та пристроїв, які відповідають стандартам, наведені в методичних вказівках [1] і повинні бути використані при розробці технологічної схеми.

Креслення загального виду апарата, який проектується, визначає конструкцію виробу, показує взаємодію його основних складових і пояснює принцип його роботи. Вимоги до креслення загального виду апарата наведені в методичних вказівках до оформлення курсових проектів [1].

Приклад розрахунку однокорпусної випарної установки

Завдання. Розрахувати однокорпусну випарну установку для концентрування розчину карбонату натрію з початковою концентрацією $X_{\text{п}} = 15\%$ мас, до кінцевої концентрації $X_{\text{к}} = 30\%$ мас. Продуктивність установки $G_{\text{п}} = 5,4$ т/год. Тиск грючої пари першого корпусу $P_{\text{г.п.}} = 0,4$ МПа. Початковий розчин підігривається у підігрівачі від 15°C до 95°C за рахунок тепла вторинної пари, яка виходить з випарного апарата і подається в підігрівач як грюча. Тиск вторинної пари обґрунтовано прийняти. Початкова температура охолоджуючої води в конденсаторі $t_{\text{п}}=20^{\circ}\text{C}$.

ВСТУП

Для розрахунку технологічних параметрів випарної установки та конструктивних розмірів апаратів необхідні основні фізико-хімічні властивості розчину Na_2CO_3 .

Загальна назва натрієвих солей вуглецевої кислоти – сода. Відрізняють безводну сіль Na_2CO_3 (кальцинована сода) та кристалічний продукт $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Вперше Na_2CO_3 була отримана французьким фармацевтом Лебланом в 1775 році шляхом термічної обробки суміші сульфату натрію, подрібненої крейди та вугілля.

Сода використовується в багатьох галузях промисловості: виробництво скла, алюмінію, мила, миючих засобів, різноманітних солей, барвників, очищення нафти, промивання вовни та інше.

Na_2CO_3 – безбарвна кристалічна речовина, температура плавлення $t_{\text{пл.}} = 853^\circ\text{C}$. Na_2CO_3 дуже гігроскопічна речовина, добре розчинна у воді, при розчиненні якої виділяється велика кількість тепла; теплота розчинення 1 моля Na_2CO_3 в 1000 мл H_2O дорівнює 230,4 кДж.

Розчинність Na_2CO_3 у воді в залежності від температури: [1]

Температура, $t^\circ\text{C}$	0°C	20°C	100°C
Розчинність, Na_2CO_3 , % мас.	6,54	17,69	31,29

Густина водних розчинів Na_2CO_3 при $t = 25^\circ\text{C}$ в залежності від концентрації складає: [2]

Концентрація Na_2CO_3 , мас.%	6	10	20
Густина розчину, ρ , кг/м^3	1058	1100	1211

Теплопровідність 10% розчину складає $\lambda = 0,58 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, в'язкість при температурі $t = 20^\circ\text{C}$, $\mu = 1,74 \text{ Па}\cdot\text{с}$, [3].

Із водних розчинів при температурах нижче 32°C кристалізується $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, між 32°C і $34,8^\circ\text{C}$ – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, вище $34,8^\circ\text{C}$ – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ і вище 112°C кристалізується безводна сіль Na_2CO_3 .

В більшості органічних розчинників Na_2CO_3 не розчиняється. На відкритому повітрі Na_2CO_3 поглинає CO_2 і злежується.

Розчини Na_2CO_3 в воді мають лужну реакцію.

Вода (оксид водню), з хімічною формулою H_2O – проста стійка речовина, рідина без запаху, смаку і кольору.

Вода – одна із самих поширених на Землі речовина. Вода входить до складу багатьох мінералів, знаходиться в ґрунті, являється обов'язковим компонентом усіх живих організмів.

При нормальних умовах температура плавлення води становить 0°C , температура кипіння при атмосферному тиску – 100°C , густина води $\rho = 1000^\circ\text{C}$, динамічний коефіцієнт в'язкості, $\mu = 1,74 \text{ Па}\cdot\text{с}$, теплопровідність складає $\lambda = 0,53 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Вода – один з кращих розчинників, розчиняє більшість полярних та дисоціюючих на іони речовин.

Воду, яку використовують промислові підприємства, прийнято називати технічною. Її використовують, головним чином, як охолоджуючий агент, транспортуючий середовища для сипких матеріалів (наприклад гідротранспорт попелу на теплових електростанціях), як розчинник та інше.

В цілому в усіх галузях промисловості 70-75% від загальної витрати води її використовують як холодоагент по циркуляційним схемам.

2. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Обґрунтування та вибір способу концентрування

Відомі наступні можливі методи концентрування розчинів: перегонка, виморожування, екстракція, випарювання.

Перегонка один з найбільш розповсюджених методів розділення рідких однорідних сумішей, що складаються з двох або більшого числа компонентів. У широкому розумінні перегонка являє собою процес, що включає часткове випарювання суміші з наступною конденсацією пари, який проводять одно- або багаторазово. У результаті конденсації одержують чистий випарений компонент (рідина), склад якої відрізняється від складу вихідної суміші. За допомогою перегонки розділяють суміші, усі компоненти яких леткі, тобто мають визначений, хоча і різний тиск пари.

У розглянутому випадку необхідно здійснювати концентрування водного розчину карбонату натрію, один з компонентів якого не має леткості (Na_2CO_3). Отже процес перегонки в даному випадку не підходить.

Екстракцією називають процес витягу одного або декількох компонентів з розчинів або твердих тіл за допомогою виборчих розчинників (екстрагентів). При взаємодії з екстрагентом у ньому добре розчиняються компоненти, що витягаються, і значно слабкіше або зовсім не розчиняються інші компоненти вихідної суміші. Екстракція незамінна для поділу суміші речовин, чутливих до підвищених температур. В розглянутому випадку розчин Na_2CO_3 не має особливостей, наведених вище, тому процес екстракції для даного випадку не є оптимальним.

Випарюванням називається концентрування розчинів практично нелетких або малолетких речовин у рідких летких розчинниках, шляхом видалення частини леткого розчинника.

Випарюванню піддають розчини твердих речовин (водні розчини лугів, солей і ін.), а також висококиплячі рідини, що мають при температурі випарювання досить малий тиск насиченої пари – деякі мінеральні й органічні кислоти, багатоатомні спирти та ін.

При випарюванні здійснюється часткове видалення розчинника з усього об'єму розчину при температурі кипіння. Тому випарювання принципово відрізняється від випарювання, що, як відомо, відбувається з поверхні розчину при будь-яких температурах нижче температури кипіння.

В даному випадку розглядається процес концентрування водного розчину солі Na_2CO_3 , яка не має леткості, то для здійснення цього процесу доцільно вибрати процес випарювання.

Тепло, необхідне для випарювання, можна підводити будь-якими теплоносіями, що застосовують при нагріванні через стінку, що відокремлює теплоносій від розчину або при безпосередньому контакті розчину з топковими газами, або іншими теплоносіями.

Процеси випарювання проводять під вакуумом, при підвищеному й атмосферному тисках. Вибір тиску залежить від властивостей розчину, що випарюється, і можливістю використання тепла вторинної пари.

Випарювання під вакуумом має переваги перед випарюванням під атмосферним тиском, незважаючи на те, що теплота випаровування розчинника із розчину трохи зростає зі зниженням тиску і відповідно збільшується витрата пари на випарювання 1 кг розчинника (води).

Вакуумне випарювання дозволяє знизити температуру кипіння розчину і застосовується для випарювання термічно нестійких речовин (наприклад розчинів органічних речовин), а також висококиплячих розчинів, коли температура гріючого агента, не дає можливості вести процес під атмосферним тиском. Використання вакууму дозволяє також збільшити корисну різницю температур в випарному апараті, а отже, зменшити поверхню теплообміну.

Для випарювання під тиском необхідно застосовувати гріючі агенти з більш високою температурою. При випарюванні під атмосферним тиском вторинна пара, що утворюється, конденсується і направляється на очистку, але для зменшення енергозатрат на процес, її доцільніше використовувати, як для підігрівання початкового розчину в підігрівачі перед подачею його в випарний апарат, так і для інших нестатків. Однак випарювання під надлишковим тиском пов'язано з підвищенням температури кипіння розчину, тому такий спосіб застосовується для випарювання розчинів термічно стійких речовин. Крім того для випарювання під тиском необхідно застосовувати гріючі агенти з більш високою температурою. Так як карбонат натрію речовина термічно стійка, то доцільно проводити процес випарювання при підвищеному тиску, що дає можливість використання вторинної пари для підігрівання початкового розчину.

2.2. Фізико-хімічні основи процесу випарювання

Фізична сутність процесу випарювання є перетворення частини розчинника, або усього розчинника в пару, якщо випарюють однокомпонентну систему.

Випарювання відбувається із усієї маси рідини при температурі кипіння і відповідному тиску. Випаровування відбувається з поверхні рідини при будь-якій температурі.

З точки зору молекулярно-кінетичної теорії при випарюванні та випаровуванні має місце видалення частини молекул, які знаходяться в стані теплового руху із простору, що займає рідина. Молекули, які виділяються із рідини, заповнюють паровий простір і утворюють насичену пару. Частина цих молекул знову повертається в рідину, а частина залишається в паровому просторі і таким чином встановлюється динамічна рівновага, в результаті чого кількість молекул над рідиною і тиск насиченої пари досягають визначеної величини при даній температурі.

Коли температура кипіння змінюється, рівновага порушується, що призводить до зміни густини і тиску пари.

Під час кипіння рідини пара виділяється не тільки з поверхні, а й з парових бульбашок, які утворюються в самій рідині і цей процес стає основним, оскільки утворені бульбашки становляться центрами пароутворення. Бульбашки пари за мірою пароутворення збільшуються в розмірах, їх піднімальна сила збільшується, і переборюючи опір рідини, вони впливають на поверхню рідини і лопаються. Таке переміщення бульбашок із нижніх шарів рідини на поверхню забезпечує безперервне перенесення утвореної всередині рідини пари в паровий простір.

Парові бульбашки зароджуються на поверхні теплообміну, їх утворенню сприяють також гази, які знаходяться в рідині. При нагріванні гази починають виділятися з рідини, утворюючи велику кількість бульбашок, в які випаровується рідина. Умовами утворення парових бульбашок є рівність тисків всередині бульбашки та зовнішнього тиску рідини, що її оточує.

Щоб здійснити процес випарювання до рідини необхідно передати тепло від теплоносія, що можливо тільки при наявності температурного перепаду між ними.

У випарній установці існує так званий загальний і корисний температурний напір, що відрізняються один від одного на величину температурних втрат (депресій), між якими існує наступний зв'язок.

Загальний температурний напір (загальна різниця температур) – це різниця між температурою гріючої пари, яка подається в випарний апарат і температурою конденсації вторинної пари в конденсаторі [8]:

$$\Delta t_{\text{заг}} = T_{\text{г.п.}} - T_{\text{к}}$$

де $\Delta t_{\text{заг}}$ – загальна різниця температур, К;

$T_{\text{г.п.}}$ – температура гріючої пари, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{к}}$ – температура конденсації вторинної пари в конденсаторі, $^{\circ}\text{C}$.

Корисний температурний напір (корисна різниця температур) в окремому випарному апараті визначається як різниця температури конденсації гріючої пари і киплячого розчину, визначається за формулою [8]

$$\Delta t_{\text{к}} = T_{\text{г.п.}} - t_{\text{кип. розчину}}$$

Загальний корисний температурний напір (корисна різниця температур) в випарній установці в загальному плані – це загальна різниця температур з вирахуванням температурних втрат, визначається за формулою [8]

$$\Delta t_{\text{к}} = \Delta t_{\text{заг}} - \Sigma \Delta_{\text{вт}}$$

де $\Sigma \Delta_{\text{вт}}$ – сума температурних втрат:

$$\Sigma \Delta_{\text{вт}} = \Delta' + \Delta'' + \Delta''',$$

де Δ' – температурна депресія, $^{\circ}\text{C}$;

Δ'' – гідростатична депресія, $^{\circ}\text{C}$;

Δ''' – гідродинамічна депресія, $^{\circ}\text{C}$.

Температурна депресія. Як відомо, що при одній і тій же температурі тиск пари над чистим розчинником набуває більшого значення, ніж тиск пари над розчином, і відповідно при одному і тому ж тиску температура кипіння чистого розчинника менша температури кипіння розчину. Різницю між

температурами кипіння розчину і чистого розчинника називають температурною, або фізико-хімічною депресією.

$$\Delta' = t_{\text{кип. розчину}} - t_{\text{кип. розчинника}}$$

Крім фізико-хімічної, або температурної депресії існують ще гідростатична і гідродинамічна депресія. Всі ці депресії знижують корисний температурний напір у випарному апараті.

Гідростатична депресія. Температура $t_{\text{кип.}}$ – це середня температура кипіння розчину в трубах:

$$t_{\text{кип.}} = t_{\text{кін.}} - \Delta t_{\text{г.еф.}}$$

де $\Delta t_{\text{г.еф.}}$ – гідростатична депресія, або підвищення температури кипіння розчину внаслідок гідростатичного тиску стовпа рідини в апараті (гідростатичний ефект); $t_{\text{кін.}}$ – температура кипіння розчину в сепараторі, при якій випарений (кінцевий) розчин виводиться з апарата.

На температуру кипіння впливає висота стовпа рідини. Якщо рідина кипить всередині вертикальної кип'ятильної трубки, то температура кипіння в верхній частині трубки буде нижча, ніж внизу, де до зовнішнього тиску додається гідростатичний тиск. Гідростатична депресія – це різниця температури кипіння розчину в нижній частині кип'ятильних трубок, що знаходиться під тиском гідростатичного стовпа рідини H в апараті, і температури кипіння на поверхні верхньої трубної решітки гріючої камери ($t_{\text{кін.}}$ в сепараторі). Наявність цієї депресії пов'язана з тим, що для утворення сферичних парових бульбашок у товщі рідини необхідно забезпечити у середині їх тиск, рівний тискові, утвореному висотою стовпа рідини.

Гідродинамічна депресія виникає внаслідок втрати тиску (і температури) на подолання гідравлічних опорів у трубах – тертя та місцевих опорів в паропроводі при переході вторинної пари із корпусу в корпус установки і сполучних трактах апаратів. Особливо істотна гідродинамічна депресія у випарних апаратах зі спадаючою плівкою рідини, що працюють при невеликих температурних напорах. Величину гідродинамічної депресії приймають за практичними даними в межах $0,5 - 1,5^{\circ}\text{C}$.

Важливим питанням при розрахунку випарних апаратів є визначення температури пари над киплячим розчином. Її можна прийняти рівною температурі насичення при тиску в апараті, або ж рівною температурі рідини, згідно з результатами експериментальних досліджень.

2.3. Вибір та обґрунтування схеми установки

Обґрунтування прийнятої до проектування технологічної схеми установки виконується на основі аналізу випарних установок за ознаками кратності використання тепла гріючої пари, тиску вторинної пари в останньому корпусі, їх переваг та недоліків.

В хімічній промисловості використовують наступні основні схеми випарювання:

– просте випарювання – випарювання, яке здійснюють під атмосферним тиском, а іноді і під вакуумом, здійснюють в одиночних випарних апаратах (однокорпусних випарних установках), як безперервним, так і періодичним методом, характеризується великою витратою теплової енергії, і застосовується переважно, коли економія тепла не має великого значення;

– багаторазове випарювання – випарювання, яке здійснюють в багатокорпусній випарній установці; установка складається із послідовно сполучених між собою випарних апаратів безперервної дії, так званих корпусів, що дає можливість багаторазово використовувати тепло первинної пари за рахунок того, що вторинна пара, яка утворюється в попередніх корпусах, використовується в наступних як гріюча, або як екстра-пара;

– випарювання з тепловим насосом – випарювання здійснюється безперервно в однокорпусних випарних установках, в яких вторинна пара на виході з апарата стикується за допомогою теплового насоса до тиску, який відпровідає температурі гріючої пари, після чого знову повертається в апарат як гріюча.

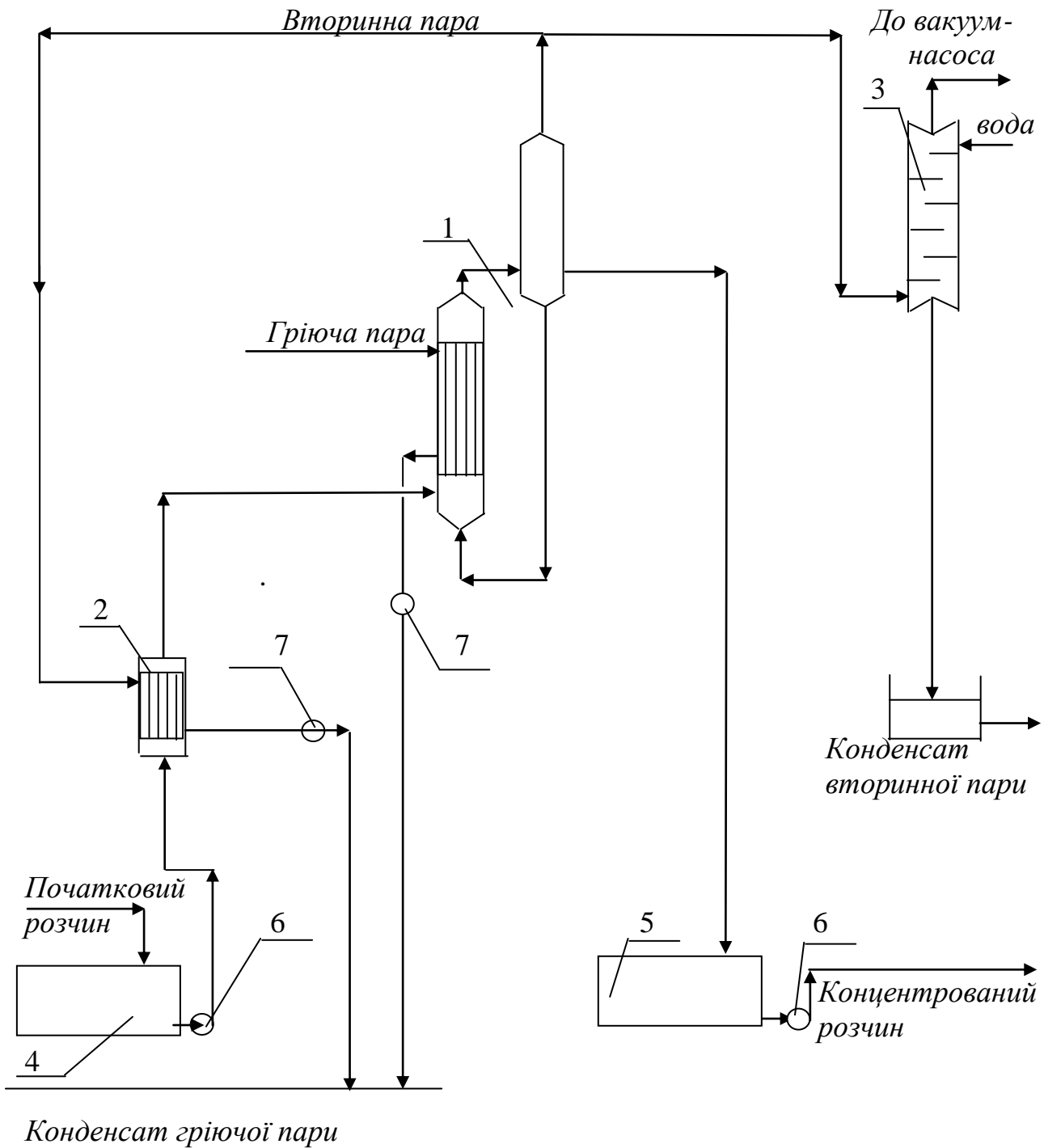
Випарні установки [3] складаються з основних елементів – випарних апаратів (випарників) і допоміжного устаткування – конденсаторів, теплообмінників, насосів і ін.

Згідно завдання продуктивність установки досить висока і складає 5,4 т/годину, або 1,5 кг/с, то доцільно вибрати установку безперервної дії. З урахуванням наведеного вище, для даного процесу вибираємо однокорпусну прямоточну випарну установку безперервної дії, із випарним апаратом з природною циркуляцією, та винесеною гріючою камерою, яка обігрівается водяною насиченою парою.

2.4. Принципова схема однокорпусної випарної установки і опис її роботи

Принципова схема однокорпусної випарної установки показана на рис.2.1. Початковий розбавлений розчин із ємності 4 насосом 6 подається в підігрівач 2, в якому підігрівается до температури близької до температури кипіння. Далі підігрітий розчин надходить в випарний апарат 1, де випарюється до кінцевої концентрації. Для підігрівання розчину в підігрівачі 2 використовується тепло вторинної пари, яка утворюється при випарюванні розчину в випарному апараті 1. Випарений концентрований розчин виходить із сепаратора і збирається в ємність випареного розчину 5. В випарному апараті випарювання здійснюється за рахунок тепла первинної гріючої пари, яка подається в нагрівальну камеру випарного апарата. Вторинна пара, що утворилася в випарному апараті, виходить із сепаратора і надходить частково на нагрівання початкового розчину в підігрівач 2 як гріюча, а частково у барометричний конденсатор 3, де конденсується за рахунок охолодження її водою.

Принципова схема однокорпусної випарної установки



1 – випарний апарат; 2 – підігрівач розбавленого розчину; 3 – барометричний конденсатор; 4 – ємність розбавленого розчину; 5 – ємність випареного розчину; 6 – насос; 7 – конденсатовідвідник

Рис.2.1.

2.5. Вибір конструкції та принцип дії випарного апарата

Випарні апарати можна класифікувати в такий спосіб:

1. За принципом дії – на апарати періодичної і безперервної. Періодично діючі апарати мають ряд переваг перед безперервними: при одній і тій же початковій і кінцевій концентраціях розчину в них досягаються більш високі коефіцієнти теплопередачі; полегшується перекачування концентрованого в'язкого розчину. Однак ці апарати можуть використовуватися лише при невеликих продуктивностях.

2. За первинним теплоносієм – на апарати з паровими, газовими і рідинними теплоносіями, а також з електрообігрівом. Для даного процесу найбільше підходить апарат з паровим обігрівом, тому що при цьому забезпечується високе значення коефіцієнта теплопередачі поряд із простотою регулювання параметрів процесу та невисокою вартістю.

3. За сполученням стадій нагрівання і пароутворення – на апарати, у яких ці стадії сполучені та апарати з винесеною зоною пароутворення або з винесеною гріючою камерою. Для даного випадку застосуємо останній тип – апарат з винесеною гріючою камерою, для запобігання відкладень на поверхні нагрівання.

4. За способом організації руху розчину – на апарати з природною і примусовою циркуляцією. Природна циркуляція може здійснюватися в об'ємі апарата, або забезпечуватися спеціальними циркуляційними трубами. Примусова циркуляція організується за допомогою насосів, мішалок або подачі пари (газу). Циркуляція (переміщення) розчину може створюватися також шляхом обертання або вібрацій поверхні нагрівання. У даному випадку найбільше підходить природна циркуляція, тому що розчин не утворює кристалів і має невелику в'язкість.

За напрямком руху пари і рідини – на апарати, у яких рідина рухається знизу нагору, або ж зверху вниз. Остання обставина сприятливо позначається на режимі теплообміну, тому що рух пари і плівки в одному напрямку сприяє збільшенню швидкості руху плівки і турбулізації.

На основі аналізу, враховуючи середню продуктивність установки, достатньо значне значення концентрації та в'язкості випарюваного розчину, з метою інтенсифікації процесу випарювання приймаємо випарний апарат безперервної дії з винесеною гріючою камерою та солевідділенням.

Ескіз випарного апарата показано на рис.2.2. В апараті такої конструкції при розміщенні гріючої камери за межами корпусу створюється можливість підвищити інтенсивність випарювання як за рахунок різниці густин парорідинної емульсії в циркуляційній трубі і кип'ятильних трубках, так і за рахунок збільшення висоти самих кип'ятильних труб, довжина яких часто досягає 7 м. Він працює при більш інтенсивній природній циркуляції завдяки тому, що циркуляційна труба не обігривається, а підймальні та спускові ділянки циркуляційного контуру мають значну висоту .

Розбавлений розчин надходить під нижню трубку решітку гріючої камери 1 і, піднімаючись по кип'ятильним трубкам 5, випарюється. Інколи розбавлений

розчин підводиться в циркуляційну трубу, як показано на рис 2.2. Гріюча пара подається в міжтрубний простір гріючої камери 1, конденсується і віддає тепло стінкам кип'ятильних трубок. За рахунок цього тепла розчин кипить в кип'ятильних трубках. Утворена парорідинна емульсія надходить в сепаратор 2, в якому вторинна пара відділяється від киплячого розчину і виводиться із сепаратора через каплевідбійник 4. Звільнений від вторинної пари киплячий розчин опускається по циркуляційній трубці 3, яка не обігривається, змішується з початковим розбавленим розчином, і циркуляція повторюється знову.

Ескіз випарного апарата

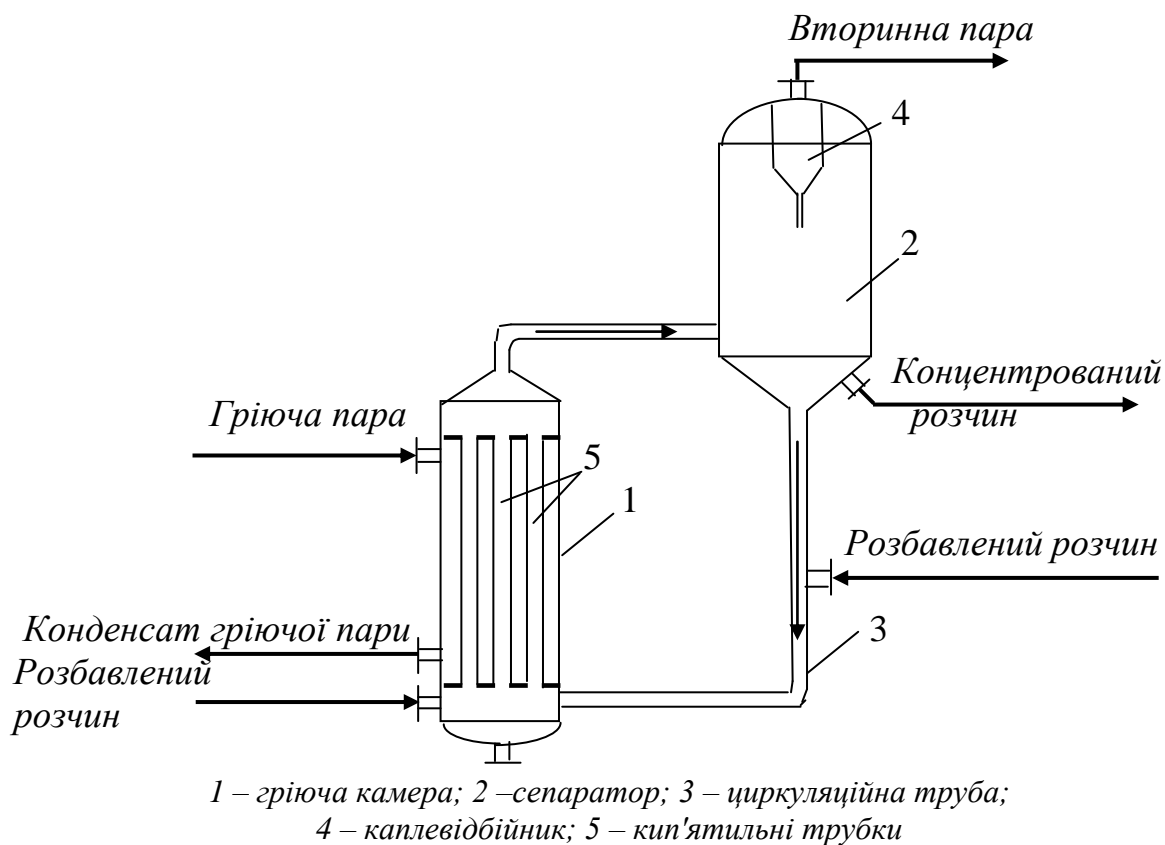


Рис.2.2.

Швидкість циркуляції розчину в апаратах такої конструкції досягає 1,5 м/с, забезпечуючи більш інтенсивне проведення процесу, і дає можливість випарювання в них концентрованих та здатних до кристалізації розчинів. Завдяки універсальності, зручності та інтенсивній теплопередачі ці апарати мають досить широке застосування в промисловості.

2.6. Вибір конструкційного матеріалу

При виборі конструкційних матеріалів необхідно враховувати його теплостійкість, корозійну стійкість, характеристику на міцність та вартість, рекомендації до вибору конструкційних матеріалів детально представлені в довідковій літературі [6].

Конструкційні матеріали повинні мати високу корозійну стійкість не тільки для забезпечення довговічності апаратів, але й для запобігання забруднення середовища в апараті продуктами корозії, що призводить до порушення технологічного режиму та погіршення якості продуктів.

Основними конструкційними матеріалами для випарних апаратів і допоміжного обладнання є чавун та сталь.

Чавун використовують до тиску 0,6 МПа і діаметром апаратів до 2 м, чавун має полімерну і хімічну стійкість проти агресивних середовищ. Стійкими проти розчинів лугів є спеціальні чавуни СЧЩ – 1 та СЧЩ – 2, а також чавуни, леговані нікелем або міддю; чавун з вмістом хрому до 30 % стійкий проти дії HNO_3 , хлористих сполук, сірки та її сполук, недоліком чавунів є їх невисока механічна міцність.

Сталі в порівнянні з чавунами мають більш високі міцнісні характеристики; вуглецеві сталі Ст.20, Ст.201С застосовуються в апаратах, які працюють при температурі до 450°C і тиску до 6,4 МПа. Стійкими в пароводяному середовищі є низьколеговані молібденові сталі 15М та 20М, хромомолібденові сталі 12МХ та 15МХ. Велику стійкість в середовищах азотної кислоти, нітратів, нітритів, оцтової та фосфорної кислот, лугів має аустенітна сталь 1X18H11T, 1X18H12M2T та сталь 1X18H10T.

При концентруванні розчинів карбонату натрію від початкової концентрації 15 до 30% мас. до установки приймаємо за Держстандартом 11987-81 випарний апарат із природною циркуляцією і винесеною грійною камерою, тип 1, виконання 2. Апарат складається з грійної камери з кип'ятильними трубками з $d = 38 \times 2$ мм і висотою $H = 4$ м [5], та парового (сепараційного) простору.

Матеріал корпусу і деталей випарного апарата знаходиться в лужному середовищі киплячого розчину карбонату натрію. Для апаратів, що працюють в такому середовищі рекомендована в посібнику [6] сталь таких марок: 1X13, 2X13, X17, X28, X18H10T.

Приймаємо низьколеговану сталь 2X13, стійку в агресивному середовищі.

3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Метою розрахунку є знаходження витрати концентрованого розчину, гріючої пари, визначення температурного режиму установки, витрати вторинної пари на підігрівання початкового розчину в підігрівачі, витрати охолоджуючої води в конденсаторі.

3.1. Загальну кількість випареного розчинника знаходимо з рівняння матеріального балансу випарної установки [4].

$$W = G_{\text{п}}(1 - X_{\text{п}}/X_{\text{к}}) \text{ кг/с,}$$

де W – кількість випареного розчинника, кг/с;

$G_{\text{п}}$ – продуктивність установки за вихідним розчином, кг/с; $G_{\text{п}} = 5,4 \text{ т/год}$;

$X_{\text{п}}$ і $X_{\text{к}}$ – початкова і кінцева концентрації розчину, % мас.

$$W = 5,4/3600 * (1 - 15/30) = 0,75 \text{ кг/с.}$$

Кількість утвореного концентрованого розчину складе:

$$G_{\text{к}} = G_{\text{п}} - W = 5,4/3600 - 0,75 = 0,75 \text{ кг/с.}$$

3.2. Вибір тиску вторинної пари

У вибраній схемі вторинна пара використовується для підігрівання розчину до температури $t_{\text{п}} = 95^{\circ}\text{C}$, тому її температура повинна бути на $8 - 10^{\circ}$ вище за кінцеву температуру нагрівання розчину [4]:

$$T_{\text{вт.п.}} = t_{\text{п}} + (8 - 10^{\circ}) = 95 + 10 = 105^{\circ}\text{C.}$$

Відповідно до температури пари за таблицею LVII [4] знаходимо її тиск,

$$P_{\text{вт.п.}} = 0,1232 \text{ МПа.}$$

3.3. Визначення температурного режиму випарного апарата

Температура кипіння розчину у випарному апараті:

$$t_{\text{к}} = T_{\text{вт.п.}} + \Delta' + \Delta''$$

де Δ' – температурна депресія;

Δ'' – гідростатична депресія.

Температурна депресія залежить від концентрації розчину, тиску, природи розчиненої речовини і наводиться в посібниках [4,5] при атмосферному тиску.

При визначенні температури кипіння розчину приймаються наступні допущення [5]:

1) Розподіл концентрацій розчину у випарному апараті відповідає моделі ідеального перемішування. Тому концентрацію киплячого розчину приймають рівною кінцевій в даному корпусі.

2) Зміна температури кипіння розчину по висоті кип'ятільних труб відбувається внаслідок зміни гідростатичного тиску стовпа рідини. Температуру кипіння розчину в корпусі приймають при відповідній температурі кипіння в середньому шарі рідини.

Температурну депресію розчину карбонату натрію визначаємо при кінцевій концентрації $X_k = 30\%$, яка становить $\Delta'_{атм} = 4,2^{\circ}\text{C}$ при атмосферному тиску [5]. Температурну депресію при будь-якому тиску знаходимо за формулою [8]

$$\Delta' = 1,62 * 10^{-2} \left(\frac{T_{вт}^2}{r_{ем}} \right) * \Delta_{атм},$$

де $T_{вт}$ – абсолютна температура вторинної пари, $T_{вт} = 273 + 105 = 378 \text{ K}$;
 $\Delta'_{атм}$ – температурна депресія при атмосферному тиску, $^{\circ}\text{C}$;
 r – теплота пароутворення вторинної пари при $T_{вт} = 105^{\circ}\text{C}$, [4],
 $r = 2248 \text{ кДж/кг}$.

$$\Delta' = 1,62 * 10^{-2} \left(\frac{T_{вт}^2}{r_{ем}} \right) * \Delta_{атм} = 4,2 * 1,62 * 10^{-2} \frac{(378)^2}{2248} = 4,32^{\circ}.$$

Тоді температура кипіння розчину в сепараторі складе:

$$t_{кип} = T_{вт} + \Delta' = 105 + 4,32 = 109,32^{\circ}\text{C}.$$

Гідростатична депресія обумовлена різницею тисків у середньому шарі киплячого розчину і на його поверхні.

Тиск у середньому шарі киплячого розчину $P_{ср}$ кожного корпусу визначається за рівнянням [4]:

$$P_{ср} = P_{вт} + \rho_p * g * H_p / 2,$$

де ρ_p – густина киплячого розчину, при $X_k = 30\%$,
 $\rho_p = 1298 \text{ кг/м}^3$, [3];

H_p – висота рівня розчину в кип'ятильних трубках в апараті, визначається по водомірному склу, в залежності від висоти кип'ятильних трубок $H_{тр}$, м.

Для вибору значення $H_{тр}$ необхідно орієнтовно оцінити поверхню теплопередачі випарного апарата $F_{ор}$. При кипінні водних розчинів можна прийняти питоме теплове навантаження апаратів із природною циркуляцією $q = 20\ 000 - 50\ 000 \text{ Вт/м}^2$, з вимушеною циркуляцією $q = 40\ 000 - 80\ 000 \text{ Вт/м}^2$ [9], тоді орієнтовна поверхня теплопередачі першого корпусу дорівнює:

$$F_{ор} = Q/q = W * r' / q = 0,75 * 2248 * 10^3 / 30\ 000 = 56,2 \text{ м}^2,$$

За ГОСТ 11987 – 81 (Аппараты выпарные, трубчатые) найближча поверхня складе $F = 63 \text{ м}^2$, при висоті труб $H_{тр} = 4 \text{ м}$ (тип 1, виконання 2).

Оптимальний рівень розчину при випарюванні водних розчинів в апаратах з природною циркуляцією розраховується за формулою [4].

$$H_p = H_{опт} = [0,26 + 0,0014 (\rho_p - \rho_v)] * H_{тр},$$

де ρ_p , ρ_v – густина розчину і води при температурі кипіння, $t_{кип} = 109,32^{\circ}\text{C}$,

$\rho_p = 1261 \text{ кг/м}^3$, (при середній концентрації розчину Na_2CO_3 20%) [3],

для води $\rho_v = 950 \text{ кг/м}^3$ [4].

Тоді $H_{опт} = [0,26 + 0,0014(1261 - 950)] * 4 = 2,98 \text{ м}$.

$$P_{ср} = 1,232 + (0,5 * 1261 * 9,8 * 2,98) * 10^{-5} = 1,42 \text{ кг/м}^3.$$

Такому тискові відповідає температура $t_{cp} = 109^{\circ}\text{C}$ [4].

Гідростатична депресія за рахунок гідростатичного стовпа рідини складе:

$$\Delta'' = t_{cp} - T_{вт.п} = 109,0 - 105,0 = 4,0.$$

Звідси, середня температура кипіння розчину у корпусі складе:

$$t_{кип} = T_{вт} + \Delta' + \Delta'' = 105,0 + 4,32 + 4,0 = 113,32^{\circ}\text{C};$$

3.5. Визначення корисної різниці температур в установці

Загальна різниця температур в установці [8]:

$$\Delta t_{заг} = T_{г.п} - T_{б.к.},$$

де $T_{г.п}$ – температура гріючої пари при тиску $P_{г.п.} = 0,4$ МПа; $T_{г.п.} = 142,9^{\circ}\text{C}$ [4].

$T_{б.к.}$ – температура конденсації вторинної пари, що надходить в барометричний конденсатор:

$$T_{к} = T_{вт.} - \Delta''' = 105,0 - 1 = 104^{\circ}\text{C}.$$

де Δ''' – гідравлічна депресія, яку приймаємо в межах $1 \div 1,5^{\circ}\text{C}$ [8].

Загальна різниця температур в установці складе:

$$\Delta t_{заг} = T_{г.п.} - T_{к} = 142,9 - 104 = 38,9^{\circ}\text{C}.$$

Корисна різниця температур: [8]

$$\Delta t_{к} = \Delta t_{заг} - \Sigma \Delta_{вт} = 38,9 - 9,32 = 29,58^{\circ}\text{C}.$$

де $\Sigma \Delta_{вт}$ – сума температурних втрат:

$$\Sigma \Delta_{вт} = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 4,32 + 4 + 1 = 9,32^{\circ}\text{C}.$$

Перевірка корисної різниці температур в апараті:

$$\Delta t_{к} = T_{г.п.} - t_{кип.} = 142,9 - 113,32 = 29,58^{\circ}\text{C}.$$

3.4. Тепловий баланс випарного апарата

Надходження тепла в апарат:

– з гріючою парою: $Q_{г.п.} = D * I_{г.п.}$;

– з початковим розчином: $Q_{п.р.} = G_{п} * c_{п} * t_{п}$;

Витрати тепла в апараті:

– з вторинною парою $Q_{вт} = W * I_{вт}$;

– з концентрованим розчином $Q_{к.р.} = (G_{п} - W) * c_{к} * t_{к}$;

– з конденсатом гріючої пари $Q_{к} = D * c_{к} * \Theta_{к}$;

– теплота концентрування розчину $Q_{конц}$;

– втрати тепла в навколишнє середовище $Q_{втр}$,

де D – витрата гріючої пари, кг/с;

$I_{г.п.}$ – тепловміст гріючої пари при $P_{г.п.} = 0,4$ МПа, $I_{г.п.} = 2744$ кДж/кг [4];

$c_{р}$ – теплоємність розбавленого розчину (при $X < 20\%$), знаходимо за формулою [4]

$$c_{р} = 4190(1 - X_{п}) = 4190(1 - 0,15) = 3561,5 \text{ Дж/кг*К};$$

$t_{п}$ – початкова температура розчину, $t_{п} = 95^{\circ}\text{C}$;

$I_{вт}$ – тепловміст вторинної пари при $T_{вт} = 105^{\circ}\text{C}$, $I_{вт} = 2687$ кДж/кг, [4];

$c_{к}$ – теплоємність концентрованого розчину при ($X > 20\%$) [4]:

$$c_{к} = 4190(1 - X_{к}) + c_{1} * X_{к} = 4190(1 - 0,3) + 2036 * 0,3 = 3244 \text{ Дж/кг*К};$$

де C_1 – питома теплоємність твердої розчиненої речовини Na_2CO_3 , знаходимо на основі питомих теплоємностей елементів за формулою [2]

$$C_1 = \frac{2 * C_{\text{Na}} + C_c + 3C_o}{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \frac{2 * 26 + 7,5 + 3 * 16,8}{106} = 1,036 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

де C_{Na} , C_c , та C_o – атомні теплоємності складових елементів;

$M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ – мольна маса Na_2CO_3 , = 106 кг/кмоль;

t_k – температура кипіння розчину в апараті, $t_{\text{кип}} = 113,32^\circ\text{C}$;

C_b – теплоємність води, $C_b = 4190 \text{ Дж/кг*К}$;

θ_k – температура конденсату, $\theta_k = T_{\text{г.п.}} - (2 - 3^0) = 142,9 - 2 = 140,9^\circ\text{C}$.

Теплота концентрування карбонату натрію складає $\Delta q = 23,6 \text{ кДж/моль}$, або $\Delta q = 23600/106 = 222,64 \text{ Дж/кг}$ [3], і в перерахунку на суху речовину становить: $Q_{\text{конц}} = G_{\text{п}} * X_{\text{п}} * \Delta q = 1,5 * 0,15 * 222,64 = 50,09 \text{ Вт}$, що складає досить незначну величину в порівнянні з тепловим навантаженням випарного апарата: $Q = W * r_{\text{вт}} = 0,75 * 2248 * 10^3 = 1686000 \text{ Вт}$, де W – кількість вторинної пари, $r_{\text{вт}}$ – теплота пароутворення вторинної пари, тому $Q_{\text{конц}}$ можна знехтувати і не враховувати.

Втрати тепла в навколишнє середовище приймаємо 3% від загальної кількості надходження тепла: $Q_{\text{вт}} = 0,03 Q_{\text{г.п.}}$.

Підставивши необхідні величини в наведені вище рівняння знаходимо статті надходження та витрати тепла:

$$Q_{\text{г.п.}} = D * 2744000 \text{ Вт};$$

$$Q_p = 1,5 * 3561,5 * 95 = 507513,8 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{вт}} = 0,75 * 2687 * 10^3 = 2015250 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{кр}} = (1,5 - 0,75) 3244 * 113,32 = 275207 \text{ Вт};$$

$$Q_k = D * 4190 * 140,9 = D * 590370 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{конц}} = 0 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{вт}} = 0,03(D * 2744000 + 507513) \text{ Вт}.$$

Складаємо тепловий баланс і зводимо в таблицю 3.1.:

$$D * 2744000 + 507513,8 = 2025250 + 275207 + D * 590370 + 0,03(D * 2744000 + 507513,8),$$

звідки знаходимо витрату грючої пари $D = 0,868 \text{ кг/с}$.

Таблиця 3.1

Зведений тепловий баланс випарної установки

Надходження тепла	Вт	%	Витрати тепла	Вт	%
З грючою парою $Q_{\text{г.п.}} = 0,868 * 2744000$	238179,2	82,4	З вторинною парою $Q_{\text{вт}} = 0,75 * 2687 * 10^3$	2015250	69,7
З розбавленим розчином $Q_p = 1,5 * 3561,5 * 95$	507513,8	17,6	З концентрованим розчином $Q_{\text{рк}} = (1,5 - 0,75) 3244 * 113,32$	275707	9,6
			З паровим конденсатом $Q_k = D * 4190 * 140,9$	512442	17,7
			Теплові втрати $Q_{\text{вт}} = 0,03(0,868 * 2744000 + 507513)$	86679,2	3,0
УСЬОГО	2889305,8	100,0		2890078,2	100,0

Розходження балансу:

$$\Delta = \frac{2890078,2 - 2889305,8}{2890078,2} * 100 = 0,026\% , \text{ що не перевищує } 5\%.$$

3.5. Визначення витрати гріючої пари у підігрівачі вихідної суміші

Складаємо тепловий баланс підігрівача, з якого знаходимо теплове навантаження $Q_{\text{п}}$:

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{п}}(I_{\text{п}} - I_{\text{к}}) = G_{\text{п}} * c_{\text{р}}(t_{\text{п}} - t_0)$$

де $G_{\text{п}}$ – витрата початкового розбавленого розчину, $G_{\text{п}} = 1,5$ кг/с;

$c_{\text{р}}$ – теплоємність початкового розчину, $c_{\text{р}} = 3561,5$ Дж/кг*К; [3]

$t_0, t_{\text{п}}$ – температури розчину на вході та виході з підігрівача, $t_0 = 15^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{п}} = 95^{\circ}\text{C}$.

В якості гріючої пари використовуємо вторинну пару випарного апарата, яка має наступні параметри:

$T_{\text{вт.п}} = 105,0^{\circ}\text{C}$; $I_{\text{п}} = 2687$ кДж/кг; $I_{\text{к}} = 440,4$ кДж/кг; теплоємність розчину

Витрата гріючої пари на підігрівання розчину складе:

$$D_{\text{підігр.}} = \frac{G_{\text{п}} * c_{\text{р}} * (t_{\text{п}} - t_0) * 1,03}{I_{\text{п}} - I_{\text{к}}} = \frac{1,5 * 3,5615(95 - 15) * 1,03}{2687 - 440,4} = 0,195 \text{ кг/с}.$$

3.6. Визначення витрати охолоджуючої води в барометричному конденсаторі

Витрату води в барометричному конденсаторі визначаємо з рівняння теплового балансу конденсатора:

$$G_{\text{в.}} = \frac{W_{\text{к}}(I_{\text{в.п.}} - c_{\text{в}} * t_{\text{кін}})}{c_{\text{в}}(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч.}})} = \frac{0,555(2687 - 4,19 * 99)}{4,19(99 - 20)} = 6,86 \text{ кг/с}.$$

де $W_{\text{к}}$ – кількість вторинної пари, що надходить на конденсацію, кг/с,

$W_{\text{к}} = W - D_{\text{підігр.}} = 0,75 - 0,195 = 0,555$ кг/с;

$I_{\text{в.п.}} = 2636,0$ – ентальпія вторинної пари кДж/кг;

$t_{\text{кін}}, t_{\text{поч.}}$ – кінцева та початкова температури охолоджуючої води, $t_{\text{поч.}} = 20^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{кін}}$ – приймаємо на $3 - 5^{\circ}\text{C}$ нижче від температури конденсації пари,

$t_{\text{кін}} = T_{\text{в.п.}} - 5 = 104 - 5 = 99^{\circ}\text{C}$;

$c_{\text{в}} = 4,19$ кДж/кг – теплоємність охолоджуючої води.

4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ВИПАРНОГО АПАРАТА

Вихідні дані для розрахунку:

Витрата початкового розбавленого розчину, $G_{\text{п}} = 1,5$ кг/с;

Температура кипіння розчину $t_{\text{к}} = 113,32^{\circ}\text{C}$;

Корисна різниця температур $\Delta t_{\text{кор}} = 29,58^{\circ}\text{C}$;

Температура гріючої пари, $T_{\text{г.п.}} = 142,9^{\circ}\text{C}$;

Температура вторинної пари, $T_{\text{в.п.}} = 105^{\circ}\text{C}$.

4.1. Визначення коефіцієнта теплопередачі в випарному апараті

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою [8]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \Sigma r_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки кип'ятильної труби, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до киплячого розчину, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;

$\Sigma r_{\text{ст}}$ – сума термічних опорів стінки і забруднень, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

4.1.1. Визначення коефіцієнта тепловіддачі від гріючої пари до стінки

Коефіцієнт тепловіддачі при конденсації водяної пари на пучку вертикальних труб визначаємо за формулою [4]

$$\alpha_1 = 1,21 * \lambda_1 \left(\frac{\rho_1^2 * r * g}{\mu_1 * H} \right)^{\frac{1}{3}} * q^{-\frac{1}{3}}$$

де H – висота труб гріючої камери, м;

q – питоме теплове навантаження апарата, Вт/м^2 ;

всі параметри фізичних величин прийняті при температурі конденсації гріючої пари $T_{\text{г.п.}} = 142,9^{\circ}\text{C}$;

r – теплота пароутворення гріючої пари, $r = 2141$ Кдж/кг;

λ_1, ρ_1, μ_1 – теплопровідність, густина і в'язкість конденсату, табл. XXXIX [4].

$\rho_1 = 928$ кг/м³; $\mu_1 = 0,198 * 10^{-3}$ Па*с; $\lambda_1 = 0,616$ Вт/м*К.

$$\alpha_1 = 1,21 * 0,685 \left(\frac{928^2 * 2141 * 10^3 * 9,8}{0,198 * 10^{-3} * 4} \right)^{\frac{1}{3}} * q^{-\frac{1}{3}} = 2,34 * 10^5 * q^{-0,33} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}$$

4.1.2. Визначення коефіцієнта тепловіддачі від стінки до киплячого розчину

Коефіцієнт тепловіддачі знаходимо за формулою [3]

$$\alpha_2 = b \left(\frac{\lambda_2^2 * \rho_2}{\mu_2 * \sigma_2 * T_{\text{к}}} \right)^{\frac{1}{3}} * q^{\frac{2}{3}},$$

де λ_2 , ρ_2 , μ_2 , σ_2 – теплопровідність, густина, в'язкість і поверхневий натяг розчину знаходимо при температурі кипіння $t_k = 113,32^\circ\text{C}$ і кінцевій концентрації розчину $X_k=30,0\%$, за таблицями [3].

$$\rho_2 = 1248,0 \quad \square \text{кг/м}^3; \quad \mu_2 = 0,751 \cdot 10^{-3} \text{Па}\cdot\text{с}; \quad \lambda_2 = 0,711 \quad \square \text{Вт/м}\cdot\text{К};$$

$$\sigma_2 = 56,9 \cdot 10^{-3} \square \text{Н/м}.$$

b – безрозмірна величина, яку знаходимо згідно виразу

$$b = 0,075 + 0,75 \left(\frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,075 + 0,75 \left(\frac{0,693}{1248 - 0,693} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,0799.$$

$$\text{Густина пари: } \rho_n = \frac{M_n \cdot T_0 \cdot P}{22,4 \cdot T_k \cdot P_0} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273}{(273 + 113,32)} \cdot \frac{0,1232}{0,1} = 0,693 \text{кг/м}^3.$$

де P – тиск пари в апараті; $P = P_{\text{вт}} = 0,1232$ МПа; M_n – мольна маса водяної пари; $M_n = 18$ кг/к*моль;

σ – поверхневий натяг: приймаємо для води (ця величина для розчину Na_2CO_3 в довідковій літературі відсутня).

$$\sigma = 56 \cdot 10^{-3} \text{Н/м}, [4].$$

$$\text{Тоді: } \alpha_2 = 0,0796 \left[\frac{0,711^2 \cdot 1248}{0,751 \cdot 10^{-3} \cdot 56 \cdot 10^{-3} \cdot (273 + 113,2)} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot q^{\frac{2}{3}} = 3,54 \cdot q^{0,67} \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

4.1.3. Визначення суми термічних опорів стінки та забруднень

Суму термічних опорів визначаємо за формулою [4]

$$\Sigma r_{cm} = \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}} + r_{забр1} + r_{забр2},$$

де δ_{ct} – товщина стінки труби, $\delta_{ct} = 2$ мм;

λ_{ct} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки труби: для сталі $\lambda_{ct} = 46,5$ Вт/м*К [4];

$r_{забр1}$ та $r_{забр2}$ – термічний опір забруднень зі сторони пари та розчину, визначаємо за [4]:

$$r_{забр1} = \frac{1}{5800} \text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}; \quad r_{забр2} = \frac{1}{5800} \text{м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

тоді:

$$\Sigma r_{cm} = \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 3,88 \cdot 10^{-4} \text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Коефіцієнт теплопередачі складе:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{2,34 \cdot 10^5 \cdot q^{0,33}} + 3,88 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{3,54 \cdot q^{0,67}}}; \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Питоме теплове навантаження в апараті:

$$q = K \cdot \Delta t_k = \frac{29,58}{0,427 \cdot 10^{-5} q^{0,33} + 3,88 \cdot 10^{-4} + 0,282 \cdot q^{-0,67}}; \text{Вт/м}^2$$

де Δt_k – корисна різниця температур.

Звідси отримуємо рівняння:

$$0,427 * 10^{-5} * q^{1,33} + 3,88 * 10^{-4} * q + 0,282 * q^{0,33} - 26,9 = 0.$$

Це рівняння розв'язуємо графічно, приймаючи різні значення q . Результати розрахунку зводимо в таблицю 3.1 і будуємо залежність функції Y від питомого навантаження, рис.3.1.

Таблиця 3.1
Залежність функції Y від питомого навантаження

$q * 10^{-4}, \text{Вт/м}^2$	2,5	3,0	3,5	4,0
Y	-6,21	-2,96	-0,3	3,56

Графічне визначення питомого теплового навантаження q у випарному апараті

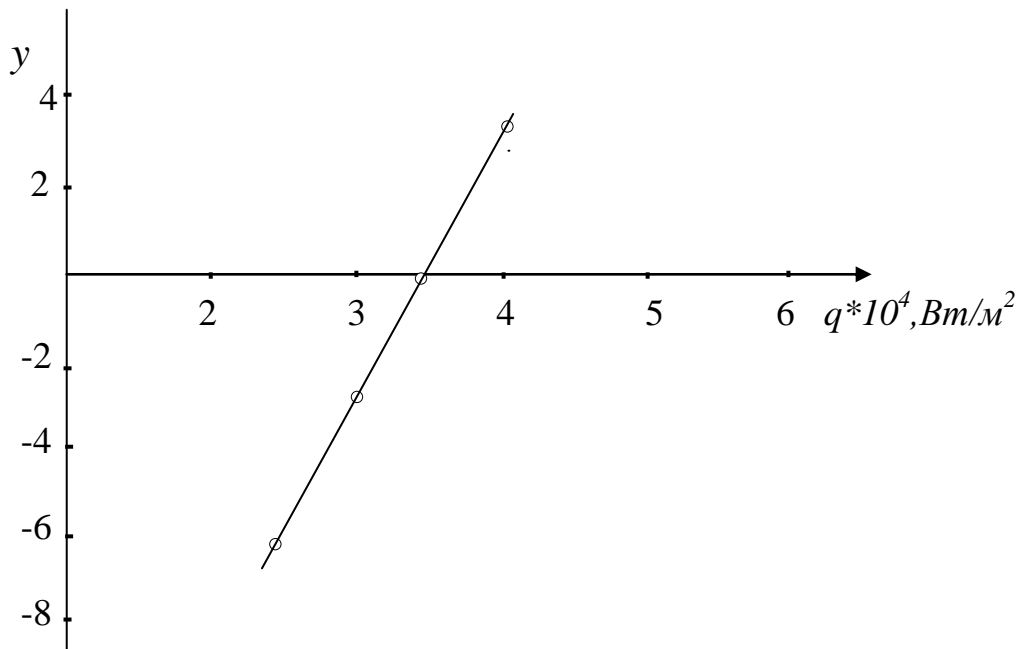


Рис.4.1.

При $y = 0$ знаходимо $q = 35000 \text{ Вт/м}^2$ і коефіцієнт теплопередачі в випарному апараті складе:

$$K = \frac{q}{\Delta t_{\text{кор}}} = \frac{35000}{26,9} = 1301 \text{ Вт/м}^2 * \text{К}$$

4.2. Визначення поверхні теплопередачі випарного апарата

Поверхню теплопередачі (нагрівання) випарного апарата визначаємо із основного рівняння теплопередачі за формулою

$$F = \frac{Q}{K * \Delta t_k}, \text{ м}^2.$$

де Q – теплове навантаження випарного апарата, Вт, визначаємо за формулою

$$Q = D(I_{г.п.} - i_k) = 0,868(2744 - 601,1) * 10^3 = 1\,860\,037,2 \text{ Вт};$$

де $I_{г.п.} = 2744$ кДж/кг, та $i_k = 601,1$ кДж/кг – тепловміст грійучої пари та парового конденсату при $P = 0,4$ МПа, [4].

Тоді:

$$F = \frac{1860037,2}{1301 * 29,58} = 48,3 \text{ м}^2.$$

Приймаємо стандартний випарний апарат за ГОСТ 11987-81 [5], тип 1, виконання 2, з такою характеристикою:

Поверхня теплопередачі	– $F = 63,0 \text{ м}^2$;
Висота трубок грійучої камери	– $H = 4 \text{ м}$;
Діаметр грійучої камери	– $D = 800 \text{ мм}$;
Діаметр сепаратора	– $D_1 = 1600 \text{ мм}$;
Діаметр циркуляційної труби	– $D_2 = 500 \text{ мм}$;
Висота сепаратора	– $H_c = 13000 \text{ мм}$;
Маса апарата	– $M = 2500 \text{ кг}$.

Запас поверхні складе:

$$\Delta = \frac{(F_{cm} - F_p)100}{F_p} = \frac{63 - 48,3}{48,3} = 30\% .$$

4.3. Визначення діаметрів штуцерів

Діаметри штуцерів для підведення та відведення теплоносіїв визначаємо з рівняння витрати за формулою [4]

$$d = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * \omega}},$$

де V – об'ємна витрата теплоносія, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω – швидкість руху теплоносія в штуцері, $\text{м}/\text{с}$,
приймаємо для рідин, $\omega \square = 1\text{--}3 \text{ м}/\text{с}$, для газів $\omega = 20\text{--}50 \text{ м}/\text{с}$ [4].

4.3.1. Діаметр штуцера для підведення грійучої пари, складе:

$$d = \sqrt{\frac{4 * D_n}{3,14 * \omega * \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 * 0,868}{3,14 * 35 * 2,12}} = 0,122 \text{ м},$$

де витрата гріючої пари $D_{\text{п}} = 0,868$ кг/с; швидкість руху гріючої пари у штуцері приймаємо $\omega = 35$ м/с; густина гріючої пари при $T_{\text{г.п}} = 142,9^{\circ}\text{C}$, $\rho_{\text{п}} = 2,12$ кг/м³, за табл. LVII [4].

Приймаємо стандартний діаметр $d_y = 125$ мм.

4.3.2. Діаметр штуцера для виходу конденсату гріючої пари

$$d = \sqrt{\frac{4 * D_{\kappa}}{3,14 * \omega * \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 * 0,868}{3,14 * 1,5 * 924}} = 0,028\text{ м},$$

де витрата конденсату гріючої пари $D_{\kappa} = 0,868$ кг/с; швидкість руху конденсату гріючої пари у штуцері приймаємо $\omega = 1,5$ м/с; густина конденсату гріючої пари при $T_{\text{г.п}} = 142,9^{\circ}\text{C}$ $\rho = 924$ кг/м³, за табл. LVII [4].

Приймаємо стандартний діаметр $d_y = 32$ мм.

4.3.3. Діаметр штуцера підведення розчину на випарювання

$$d = \sqrt{\frac{4 * G_{\kappa}}{3,14 * \omega * \rho_p}} = \sqrt{\frac{4 * 1,5}{3,14 * 1,5 * 1198}} = 0,032\text{ м},$$

де витрата початкового розчину $G_{\text{п}} = 1,5$ кг/с; швидкість подачі початкового розчину приймаємо $\omega = 1,5$ м/с; густина початкового розчину $\rho = 1198$ кг/м³, при $X_{\text{п}} = 15\%$ [3].

Приймаємо стандартний діаметр $d_y = 32$ мм.

4.3.4. Діаметр штуцера виходу концентрованого розчину

$$d = \sqrt{\frac{4 * G_{\kappa}}{3,14 * \omega * \rho_p}} = \sqrt{\frac{4 * 0,868}{3,14 * 1,5 * 1298}} = 0,0207\text{ м},$$

де витрата концентрованого розчину $G_{\kappa} = 0,75$ кг/с; швидкість руху концентрованого розчину у штуцері приймаємо $\omega = 1,5$ м/с; густина концентрованого розчину при температурі кипіння і концентрації $X_{\kappa} = 30\%$ $\rho = 1248$ кг/м³, [3].

Приймаємо стандартний діаметр $d_y = 25$ мм.

4.3.5. Діаметр штуцера для виходу вторинної пари складе:

$$d = \sqrt{\frac{4 * W}{3,14 * \omega * \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 * 0,75}{3,14 * 35 * 0,7036}} = 0,196\text{ м},$$

де витрата вторинної пари $W = 0,75$ кг/с; швидкість руху вторинної пари у штуцері приймаємо $\omega = 35$ м/с; густина вторинної пари при $T_{\text{вт.п}} = 105^{\circ}\text{C}$ $\rho_{\text{вт}} = 0,7036$ кг/м³, за табл. LVII [4].

Приймаємо стандартний діаметр $d_y = 200$ мм.

4.4. Вибір фланцевих з'єднань до штуцерів

За умовними діаметрами штуцерів за Держстандартом 1255-67 підбираються до них фланці сталеві плоскі, тип I, приварні встик з гладкою поверхнею ущільнення для труб та трубопровідної арматури [6] і їх

з'єднувальні розміри заносимо в таблицю 4.1. Ескіз фланця наведений на рис. 4.2., а з'єднувальні розміри в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Технічна характеристика штуцерів і фланців до них

P _y , МПа	Розміри, мм									z, шт	Маса, кг
	D _y	D _н	D _ф	D _б	D ₁	h	h ₁	H	d _б		
0,6	25	32	100	75	60	10	2	150	M10	4	0,55
0,6	32	38	120	90	70	10	2	150	M12	4	0,79
0,6	125	133	235	200	178	11	3	150	M16	8	2,6
0,6	200	219	315	280	258	15	3	150	M16	8	4,73

Ескіз штуцера з фланцем

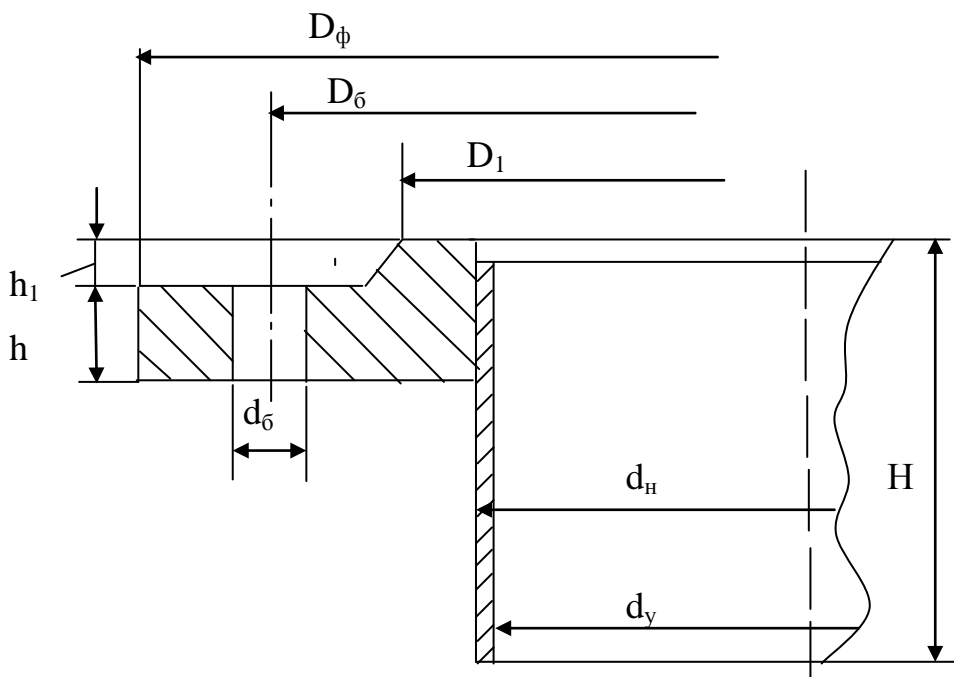


Рис.4.2

4.5. Вибір фланцевого з'єднання для грючої камери

Грючу камеру випарного апарата приймаємо розбірною, із зйомними кришкою та днищем. З'єднання фланцеве, згідно з ОСТ 26-426-79, тип 2, (шип – паз) [6]. Ескіз з'єднання наведений на рис.4.3., а розміри наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Характеристики фланців, сталевих, плоских, приварних, зі сполучним виступом

P _y , МПа	Розміри, мм					z, шт	Маса, кг
	D _в	D _ф	D _б	h	d _б		
0,6	800	930	890	32	M20	32	33,7

Ескіз фланцевого з'єднання кришки (днища) та корпусу.
Фланці, сталеві, плоскі, приварні, зі сполучним виступом

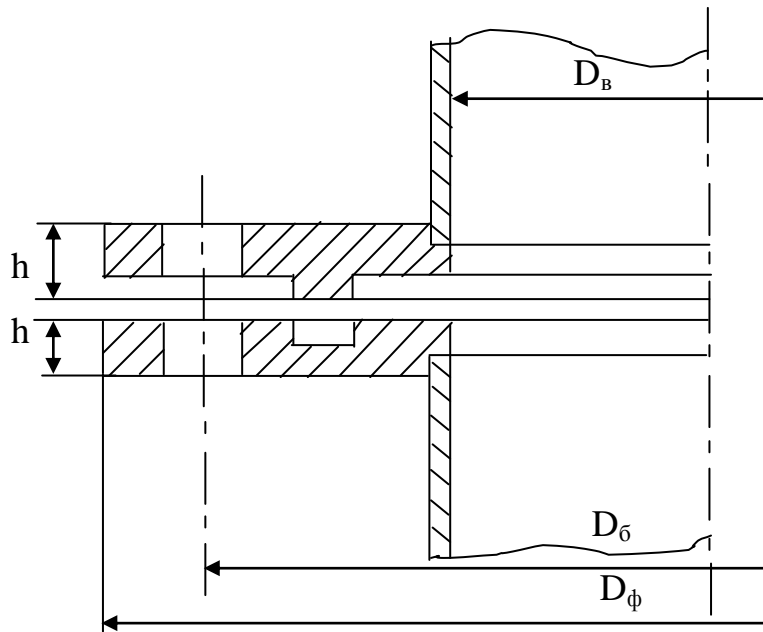


Рис. 4.3

4.5. Вибір кришки та днища випарного апарата

Як видно із рис.2.2., випарні апарати складаються із двох частин – грюючої камери і сепараційного простору. Кришка грюючої камери конічна, а днище еліптичне. В сепараторі днище конічне, а кришка еліптична [6]. Ескізи кришок та днищ наведені на рис 4.4 та 4.5., а розміри в таблиці 4.3.

Ескіз конічного днища (кришки), ГОСТ 12621-87

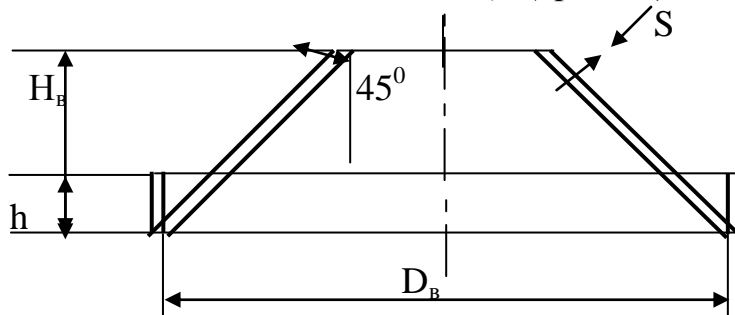


Рис.4.4

Таблиця 4.3

Характеристика конічної кришки (днища) по ГОСТ 12621 – 87

Розміри, мм				F, м ²	V, м ³	Маса, кг
D _в	H _в	h	S			
800	336	40	4	0,94	0,11	23,2
1600	896	50	6	3.61	0,809	169

Ескіз кришки (днища) еліптичного відбортованого ГОСТ 6533 – 87

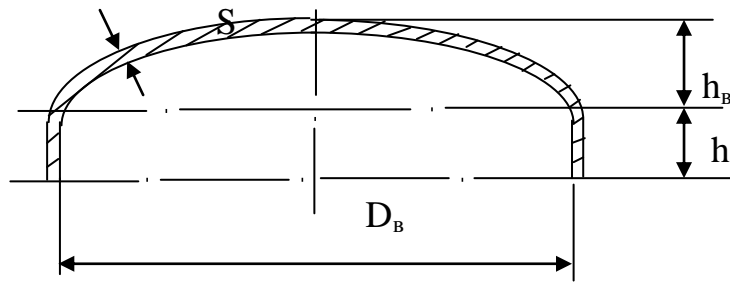


Рис. 4.5

Таблиця 4.4.

Характеристика еліптичної кришки (днища) за ГОСТ 12621 – 87

Розміри в мм				F, м ²	V, м ³	Маса, кг
D _B	h _B	h	S			
800	200	40	4	0,794	0,0871	24,0
1600	400	50	6	3,03	0,53	121,0

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Розрахунок гідравлічного опору необхідний для визначення витрат енергії на переміщення рідини або пари і вибір машин для цього.

Загальні втрати тиску у випарному апараті складають:

$$\Delta P = \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{вт}} \quad [9];$$

де ΔP_{σ} – тиск, необхідний для подолання сил поверхневого натягу, Па;

$\Delta P_{\text{ст}}$ – гідростатичний тиск стовпа рідини, Па;

$\Delta P_{\text{вт}}$ – втрата напору за рахунок тертя і місцевих опорів у трубному просторі, Па.

ΔP_{σ} визначаємо згідно виразу

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4 * \sigma}{d_{\text{в}}} = \frac{4 * 0,0609}{0,034} = 7,16 \text{ Па} \quad [9];$$

де σ – поверхневий натяг розчину, $\sigma = 0,0609$ Н/м, [3];

$d_{\text{в}}$ – внутрішній діаметр кип'ятильної трубки $d_{\text{в}} = 0,034$ м;

$\Delta P_{\text{ст}}$ – гідростатичний тиск стовпа рідини:

$$\Delta P_{\text{ст}} = \rho_{\text{р}} * g * H = 1298 * 9,81 * 4 = 50333,52 \text{ Па};$$

де $\rho_{\text{р}}$ – густина 30% розчину Na_2CO_3 ; $\rho_{\text{р}} = 1298$ кг/м³;

H – висота труб грійочої камери, $H = 4$ м;

$\Delta P_{\text{вт}}$ – втрата напору за рахунок тертя і місцевих опорів у трубному просторі, визначаємо згідно виразу:

$$\Delta P_{\text{вт}} = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho * \omega^2}{2} \quad [9]$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя визначається в залежності від режиму руху;

$\sum \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Режим руху розчину в трубках визначаємо за критерієм Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\text{об}} * d_0 * \rho_{\text{р}}}{\mu_{\text{р}}},$$

де $\omega_{\text{об}}$ – швидкість підйому бульбашок, м/с;

d_0 – діаметр бульбашки киплячої рідини, м, приймаємо $d_0 = 0,005$ м, [9];

$\rho_{\text{р}}$ – густина розчину, кг/м³;

$\mu_{\text{р}}$ – в'язкість розчину, Па*с, $\mu_{\text{р}} = 0,751 * 10^{-3}$ Па*с.

Швидкість підйому бульбашок визначаємо за формулою

$$\omega_0 = 0,7 \sqrt{\frac{d_0 (\rho_{\text{р}} - \rho_{\text{н}})}{\rho_{\text{р}}}} = 0,7 \sqrt{\frac{0,0005 (1298 - 0,693)}{1298}} = 0,049 \text{ м/с} \quad [9].$$

Тоді значення критерію Рейнольдса в трубках складе:

$$\text{Re} = \frac{\omega_0 * d_0 * \rho}{\mu_{\text{р}}} = \frac{0,049 * 0,005 * 1298}{0,751 * 10^{-3}} = 423,0,$$

Режим руху ламінарний, отже λ визначаємо за формулою, що рекомендується для ламінарного режиму $\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{423,0} = 0,151$.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів складе:

$$\Sigma \xi = \Sigma \xi_{\text{вх}} + \Sigma \xi_{\text{вих}} \quad [4].$$

де $\Sigma \xi_{\text{вх}}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів при вході розчину в труби, для одної труби $\Sigma \xi_{\text{вх}}' = 0,2$ [4].

$\Sigma \xi_{\text{вих}}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів при виході розчину із труби, для одної труби $\Sigma \xi_{\text{вих}}' = 1$ [4].

Число труб грійучої камери:

$$n = \frac{F}{\pi * d_{\text{cp}} * H} = \frac{63}{3,14 * 0,036 * 4} = 140 \text{ труб},$$

де d_{cp} – середній діаметр труби, $d_{\text{cp}} = (38+43)/2 = 36$ мм;

H – висота труб.

Тоді:

$$\Sigma \xi_{\text{вх}} = 140 * 0,2 = 28,$$

$$\Sigma \xi_{\text{вих}} = 140 * 1 = 140,$$

$$\Sigma \xi = \Sigma \xi_{\text{вх}} + \Sigma \xi_{\text{вих}} = 28 + 140 = 168.$$

$$\text{Тоді: } \Delta P_{\text{вт}} = \left(0,151 \frac{4}{0,034} + 168\right) \frac{0,0156^2 * 1298}{2} = 29,16 \text{ Па}.$$

Загальний гідравлічний опір випарного апарата складе:

$$\square \square \Delta P = 7,16 + 50933,52 + 29,16 = 50969,8 \text{ Па}.$$

6. МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Випарний апарат складається з двох частин: гріючої камери та сепаратора. Оболонка гріючої пари знаходиться під тиском $P_{г.п.} = 0,4$ МПа, на кришки та на днище діє тиск вторинної пари $P_{вт} = 0,1232$ МПа.

Розрахунковий тиск буде максимальним в нижній частині з урахуванням тиску гідростатичного стовпа рідини.

6.1. Розрахунок товщини стінки оболонки гріючої камери.

Товщину циліндричної оболонки знаходимо за формулою [6]

$$S' = \frac{P_p * D_s}{2 * [\sigma] * \varphi} + C$$

де P_p – розрахунковий тиск в нижній частині оболонки апарату

$$P_p = P_{г.п.} + \rho_k * g * H = 0,4 + 926 * 9,8 * 4 / 10^6 = 0,436 \text{ МПа};$$

ρ_k – густина конденсату гріючої пари при температурі $T_{г.п.} = 142,9^{\circ}\text{C}$,

$$\rho_k = 926 \text{ кг/м}^3 \text{ [2];}$$

H – висота оболонки, $H = 6$ м;

D_b – внутрішній діаметр оболонки гріючої камери, $D_b = 800$ мм;

$[\sigma]$ – допустима напруга матеріалу оболонки, знаходимо по рис.14.1 [6] в залежності від температури. При температурі $T_{г.п.} = 142,9^{\circ}\text{C}$ $[\sigma] = 155 \text{ МН/м}^2$ (для нержавіючої сталі);

φ – коефіцієнт міцності зварювального шва, залежить від типу шва.

Наприклад для одностороннього стикового шва $\varphi = 0,8$, двостороннього – $\varphi = 0,95$;

C – величина сумарної добавки, $C = C_k + C_e + C_d$, де C_k – добавка на корозію, або інший вид хімічної дії робочого середовища на матеріал; при відсутності даних при проникливості приймаємо $C_k = 1$ мм/рік; C_e – добавка на ерозію, рекомендовано приймати тоді, коли має місце рух агресивних частинок в апараті з великою швидкістю, для випарного апарату $C_e = 0$; C_d – додаткова добавка по технологічним, монтажним та іншим міркуванням.

Приведеними добавками товщина стінки оболонки округляється до розмірів сортаменту.

Перевіримо відношення визначальних параметрів $\frac{[\sigma]}{P_p} * \varphi = \frac{155}{0,436} = 284 > 25$.

(межі застосування формули $\frac{[\sigma]}{P_p} * \varphi > 25$).

Підставивши необхідні величини знаходимо $S' = \frac{0,436 * 0,8}{2 * 155 * 0,8} + 0,001 = 0,0014 \text{ м}$.

По таблиці [6] приймаємо товщину оболонки:

$$S = S' + C_d = 0,0014 + 0,0026 = 0,004 \text{ м}.$$

Допустимий тиск в оболонці:

$$P_d = \frac{2[\sigma] * \varphi * (S - C_k)}{D + (S - C_k)} = \frac{2 * 155 * 0,8 * (0,004 - 0,001)}{0,8 + (0,004 - 0,001)} = 0,925 \text{ МН}, \text{ що більше } P_p = 0,436 \text{ МН}.$$

Таблиця 6.1.

Рекомендована мінімальна товщина стінки оболонки в залежності від діаметру оболонки [6]

	<400	>400 до 1000	>1000 до 2000	>2000 до 4000
D, мм				
S, мм	2	3	4	6

6.2. Розрахунок товщини стінки днища гріючої камери

Знаходимо коефіцієнт ослаблення днища отвором (вихід розчину)

$$\varphi_2 = \frac{D-d}{D} = \frac{800-80}{800} = 0,97$$

де d – діаметр отвору виходу упареного розчину, $d = 25$ мм.

Робочий тиск на днище складе:

$$P_p = P_{\text{вт.п.}} + \rho_p * g * H = 0,1232 + 1298 * 9,8 * 6 / 10^6 = 0,181 \text{ МПа};$$

Де ρ_p – густина розчину в корпусі, $\rho_p = 1298 \text{ кг/м}^3$.

Товщина стінки днища:

$$S' = \frac{P_p * D}{2[\sigma] * \varphi_0} = \frac{0,181 * 0,8}{2 * 155 * 0,97} + 0,001 = 0,00047 \text{ м.}$$

$$S = S' + C_d = 0,00047 + 0,00353 = 0,004 \text{ м.}$$

Де C_d – додаткова добавка.

6.3. Розрахунок товщини трубної решітки гріючої камери

Для закріплення труб використовуються трубні решітки, тип II [6] ескіз якої показаний на рис.6.1.

Розрахункова товщина решітки зовні [6]:

$$h^b = 0,28D \sqrt{\frac{P_p}{[\sigma]}} = 0,28 * 0,8 \sqrt{\frac{0,436}{155}} = 0,012 \text{ м.}$$

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами:

$$\varphi_0 = \frac{D - \Sigma d}{D} = \frac{800 - 13 * 38}{800} = 0,382;$$

де Σd – сума отворів по діаметру трубної решітки; при діаметрі труб 38x2мм, їх кількість становить $v=13$ шт.

Розрахункова висота решітки посередині:

$$h = 0,47D \sqrt{\frac{P_p}{\varphi_0 * [\sigma]}} = 0,47 * 0,8 \sqrt{\frac{0,436}{0,382 * 155}} = 0,032 \text{ м.}$$

З урахуванням добавок на корозію та округлення розміру приймаємо:

$$h' = 0,015 \text{ м, } h = 0,04 \text{ м.}$$

Ескіз трубної решітки гріючої камери

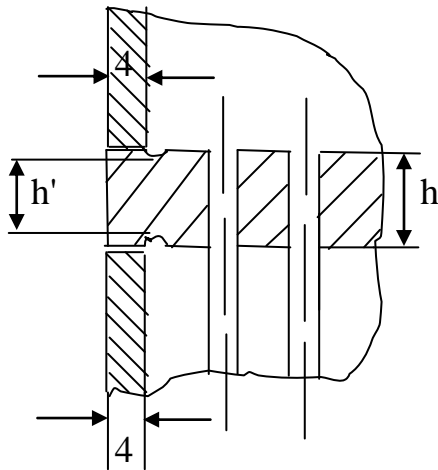


Рис.6.1.

6.4. Розрахунок товщини стінки оболонки сепаратора виконуємо в такій же послідовності, з використанням тих же формул, що при розрахунку товщини оболонки гриуючої камери.

6.5. Розрахунок товщини стінки кінчного днища сепаратора.

Розрахунковий тиск:

$$P_p = P_{в.п.} + \rho_p * g * H_c = 0,1232 + 1248 * 9,8 * 6,5 / 10^6 = 0,323 \text{ МПа};$$

де H_c – висота рівня розчину в сепараційному просторі (Рис.2.2.); розраховуємо приблизно з розмірів, приведених в [5] урахуванням висоти днища:

$$H_c = H - h_b - = 13 - 4 - 2,5 = 6,5 \text{ м.}$$

Тоді

$$S' = \frac{D * P_p * y}{4 * [\sigma] * \varphi} = \frac{1,0 * 0,323 * 1,7}{4 * 155 * 0,95} = 0,00093 \text{ м.}$$

де Y – коефіцієнт форми днища знаходимо по графіку [6] при $\alpha = 45^\circ$ і відношенні $\frac{R_g}{D} = 0,1$ (R_g – радіус згину відбортованої частини днища), $Y = 1,7$.

Доводимо отриману товщину стінки до стандартної:

$$S = S' + C_k + C_0 = 0,0012 + 0,001 + 0,0018 = 0,004 \text{ м.}$$

5.6. Вибір опори апарату.

Визначення маси апарату

Розрахуємо масу апарату в робочому стані, тобто заповненому водою при гідравлічному випробуванні.

Визначимо об'єм гриуючої камери і сепаратора

$$V_{гр} = 0,785 D^2 * H = 0,785 * 0,8^2 * 4 = 2,0 \text{ м}^3.$$

$$V_c = 0,785 * D_c^2 * H_c = 0,785 * 1,6^2 * 6,5 = 13 \text{ м}^3.$$

Маса води в гриуючій камері складе:

$$M_{гр} = V_{гр} * \rho_v = 2 * 1000 = 2000 \text{ кг};$$

Маса води в сепараторі:

$$M_c = V_c * \rho_v = 13 * 1000 = 13000 \text{ кг};$$

Де ρ_v – густина води, $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Маса самого апарату складає $M_a = 7500 \text{ кг}$.

Так як сепаратор обпирається на опорне кільце, то опори гріючої камери приймаємо по ОСТ 26 – 665 – 79, ескіз яких показано на Рис.6.2, основні розміри приведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2.

Q, кН	d	a ₁	b	c	c ₁	h	h ₁	S ₁	k	k ₁	d _Б
10,0	90	115	115	20	85	170	14	6	20	30	M20

Ескіз опори.

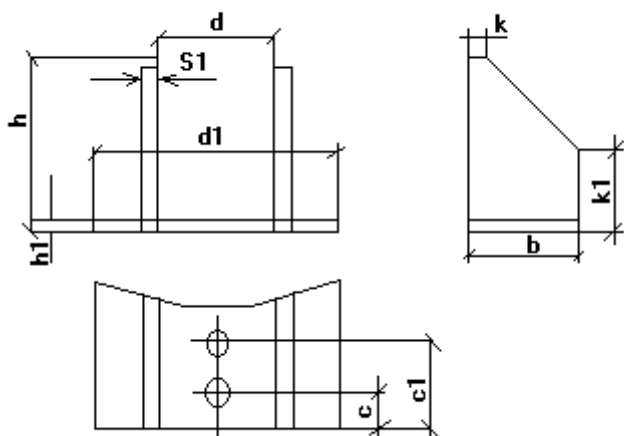


Рис.6.2.

Навантаження на одну опору становить $Q = 10 \text{ кН}$, або 10000 кг . Тоді кількість опор складе:

$$N = (2000 + 13000 + 7500) / 10000 = 3 \text{ опори.}$$

7. ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки до оформлення курсового проекту з курсу "ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ" для студентів IV – V курсів усіх спеціальностей і форм навчання / Укл. В.І.Зражевський, М.І.Шишков. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2001. – 28 с.
2. Краткая химическая энциклопедия/Под редакцией И.Л. Кнунянца. М.: "Советская Энциклопедия", 1967. – 1182 с.
3. Зайцев И.Д., Асеев Т.Г. Физико – химические свойства бинарных и многокомпонентных неорганических веществ. – М: Химия, 1988. – 416 с.

4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия. 1987. 576 с.
5. Основные процессы и аппараты химической технологии/Под ред. Дытнерского Ю.И., М.Химия 1991, 496 с.
6. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. Справочник –Л.: Машиностроение. 1981. 381 с.
7. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии. Киев.: Наукова думка.,1974. – 992 с.
8. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М., Химия, 1971. 783 с.
9. Иоффе И.А. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л., Химия, 1991. 352 с.
10. ЗАВДАННЯ до виконання курсового проекту з курсу "ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ" для студентів V курсу заочної форми навчання/ Укл. А.К.Бучинський, Т.П.Єльцова, Т.Ю.Гіріч та інші. – Дніпропетровськ:УДХТУ, 2002. – 15 с.
11. ЗАВДАННЯ до виконання курсового проекту з курсу "ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ" для студентів IV – V курсів усіх спеціальностей/ Укл. А.К.Бучинський, Т.Ю.Гіріч, В.С.Коваленко та інші. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2000. – 13 с.