

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

підпис, дата

**Кваліфікаційна робота магістра  
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"**

Тема роботи: Відділення упарювання барди у виробництві  
етилового спирту. Розробити та модернізувати випарний апарат.

Виконав:  
студент групи ХМ-мдн-91чк  
Юрченко Валентин Іванович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№  
Кваліфікаційна робота магістра  
захищена на засіданні ЕК

Керівник:

ст. викладач

з оцінкою

Корнієнко Віктор Миколайович

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

## Реферат

Пояснювальна записка: 108 ст., 7 рис., 2 табл., 2 додатки, 11 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальні креслення апарата, складальні креслення вузлів, компоновка обладнання, схема автоматизації, всього 6 листів формату А1.

Тема проекту: "Відділення упарювання барди у виробництві етилового спирту. Розробити та модернізувати випарний апарат".

Приведено обґрунтування технологічної схеми випарювання після спиртової барди. Приведені теоретичні основи процесу випарювання після спиртової барди, виконані технологічні розрахунки виробництва, проектуемого апарата, приведені конструктивні і розрахунки на міцність, що підтверджують придатність до роботи і надійність випарного апарата.

Проведено компонування основного та допоміжного обладнання, визначено порядок проведення монтажних та ремонтних робіт.

Розроблена схема автоматизації технологічного процесу з використанням сучасних контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

В розділі "Охорона праці та довкілля" даний перелік потенційних небезпек і шкідливосте й, що виникають при експлуатації обладнання у випарному відділенні, запропоновані заходи по їх усуненню.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, БАРДА, КИП'ЯТИЛЬНИК, СЕПАРАТОР, РОЗРАХУНОК, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

## ЗМІСТ

Вступ	5
1 Аналіз літературних джерел	8
2 Технологічна частина	
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	22
2.2 Теоретичні основи процесу	24
2.3 Опис конструкції проектного апарата	29
2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата	32
2.5 Гідравлічні розрахунки	59
2.6 Вибір допоміжного обладнання	61
3 Проектно-конструкторська частина	
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	68
3.2 Розрахунки на міцність і стійкість	69
4 Будівельно-монтажна частина	
4.1 Обґрунтування компонування основного та допоміжного обладнання	82
4.2 Проведення монтажних і ремонтних робіт основного технологічного обладнання	83
5 Автоматика та автоматизація технологічного процесу	
5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу	89
5.2 Розробка системи автоматизованого керування роботою обладнання	93
6 Охорона праці та довкілля	
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробництва	96
6.2 Розрахунок потенційно небезпечного фактора	105
Висновки	107
Список використаних джерел	108

Додатки:

Додаток А Специфікації до креслень

Додаток Б Специфікації засобів автоматизованого  
контролю технологічного процесу

## ВСТУП

Останнім часом у світі все більше уваги приділяється збільшенню ресурсів харчового білка, удосконаленню техніки і технології переробки традиційних і нетрадиційних сировинних ресурсів у різних галузях харчової промисловості, розширенню асортименту повноцінних продуктів харчування .

При отриманні спирту з меляси крім спирту, як основного продукту, отримуємо відходи: післяспиртову барду, вуглецевий газ, дріжджі.

Технологічна схема отримання дріжджів із бражки складається із слідуючих етапів: виділення дріжджової суспензії із бражки; промивка і концентрування дріжджів; обробка дріжджової суспензії мальтозовміщуючим продуктом та її аерування; кінцева промивка і концентрування дріжджів; відділення дріжджів на фільтр-пресах, формування і упаковка.

Мелясна барда складається із 8-12 % сухих речовин і 92-88 % води. Сухі речовини барди складаються із органічних та мінеральних. До органічних речовин відносяться: білки, бетаїн, глютамінова кислота та інші амінокислоти, цукри (глюкоза, фруктоза, арабіноза, рафіноза та ін.), гліцерин, карбонові кислоти (мурав'їна, оцтова, пропинова, гликогелева, молочна, янтарна та ін.). Мінеральні речовини барди представлені солями калія, натрія, кальція, магнія і мікроелементами (кобальт, залізо, мідь, марганець та ін.). Барда вміщує також вітаміни групи В. Щоб запобігти забруднення навколишнього середовища цими відходами, підприємства будують цехи по їх утилізації. Вуглецевий газ після очищення зріджують або переводять в твердий стан. Рідка вуглецева кислота знаходить широке застосування в виробництві безалкогольних напоїв, мінеральної води, газованих фруктових соків, для приготування газованої води. Її також використовують для зберігання харчових продуктів (м'яса, жирів, яєць) в середовищі вуглецю, для боротьби з гризунами на складах, для підживлення овочів в теплицях, при електричній зварці і механічній обробці металів для вибухових робіт, виготовлення вуглецевих вогнегасників та ін. Сухий лід застосовують як

холодоагент при зберіганні і транспортуванні харчових продуктів, які швидко псуються. Мелясна зріла бражка вміщує дріжджі, які можуть бути виділені із неї і використані в якості хлібопекарних.

Мелясна барда складається із 8-12 % сухих речовин і 92-88 % води. Сухі речовини барди складаються із органічних та мінеральних. До органічних речовин відносяться: білки, бетаїн, глютамінова кислота та інші амінокислоти, цукри (глюкоза, фруктоза, арабіноза, рафіноза та ін.), гліцерин, карбонові кислоти (мурав'їна, оцтова, пропинова, гликогелева, молочна, янтарна та ін.). Мінеральні речовини барди представлені солями калія, натрія, кальція, магнія і мікроелементами (кобальт, залізо, мідь, марганець та ін.). Барда вміщує також вітаміни групи В.

Досить довгий час барда не використовувалася. Її зазвичай викачували на поля фільтрації для мінералізації. При цьому не тільки не використовувалися цінні складові частини барди, а й створювалися великі труднощі, так як для полів фільтрації необхідна велика площа - на кожні 1000 дал спир- добової потужності заводу необхідно 10 га; земля таких полів пустує, так як на ній нічого не зростає. Крім того, внаслідок розкладу складових частин барди виникають дурно пахнучі речовини, тому поля фільтрації забруднюють повітря неприємним гнійним запахом.

Одним із способів вирішення проблеми збільшення ресурсів білка є використання вторинних сировинних ресурсів. Останнім часом в Україні використання вторинної сировини підприємств харчової промисловості набуває все більшої актуальності. Великі обсяги промислової переробки різноманітної сировини рослинного походження на харчові цілі становлять значний потенціал для агропромислового комплексу.

Це стосується й післяспиртової барди, яка являє собою сировину, що містить білки, жири, вуглеводи та незамінні амінокислоти. Отже, унаслідок утилізації післяспиртової барди не тільки забруднюється довкілля, а й нераціонально використовуються харчові ресурси такого цінного продукту. Вирішення проблеми, яка є нагальною, – це консервування нативної післяспиртової барди для подальшого її використання в харчових продуктах. При цьому переваги сушеної післяспиртової

барди перед нативною є такими: - можливість транспортування на великі відстані; - тривалий термін зберігання сушеної післяспиртової барди; - використання в технології виробництва хліба; - використання як білкової добавки. Отже, актуальним завданням є розробка нових і модернізація існуючих способів сушіння.

Вміст в барді білків, амінокислот, гліцерину, цукрів, вітамінів, мікроелементів та інших речовин дає можливість використовувати її в якості корму для худоби. Мелясна барда може застосовуватися в якості корму в натуральному та згущеному вигляді. Упарена барда також використовується в виробництві цементу, бетону, добрив, в гідролізній та інших галузях промисловості.

Зараз в Україні і інших країнах є певний досвід упарювання барди, розроблено ряд схем випарних станцій і конструкцій випарних апаратів.

Барду упарюють на багатокорпусних випарних станціях з кількарізним використанням пари. Така випарна станція складається з кількох випарних апаратів або корпусів, через які послідовно проходить упарювана барда. Тільки I корпус багатокорпусної випарної станції обігривається гріючою парою. Вторинна пара кожного попереднього корпусу використовується для обігривання наступного. Зниження температури кипіння у кожному наступному корпусі, необхідне для здійснення теплопередачі, відбувається за рахунок зниження тиску, при якому кипить барда.

Гріюча пара подається тільки в 1-й корпус, а для підігріву барди в наступних корпусах використовується вторинна пара - це дає можливість економити гріючу пару, паливо, воду; дозволяє використовувати вторинну пару для обігріву інших споживачів, що, відповідно, і зменшує витрати як на упарювання барди, так і в кінцевому результаті на собівартість основного продукту - спирту.

Комплексне використання відходів спиртових заводів, які переробляють мелясу, дозволяє не тільки значно зменшувати викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище, а й отримувати додаткові прибутки.

## 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Післяспиртову мелясну барду згущують на багатокорпусних випарних установках, що працюють як під розрідженням (останній корпус) так і під тиском. При упарюванні барди на спиртових заводах прийнята прямоточна схема живлення - розчин (барда) і гріюча пара подається спочатку в перший корпус, потім в другий і т.д.

Свіжий пар - гострий пар, який пройшов редуціювання, подається, як правило, лише на перший корпус випарної установки, кожен із наступних корпусів живиться парою попереднього - вторинною парою. Теплопередача при цьому відбувається за рахунок зниження тиску, а відповідно і температури кипіння барди в кожному корпусі порівняно з попереднім.

Однією з характерних властивостей мелясної барди є властивість швидко пінитись при кипінні, що обумовлює необхідність застосування випарних апаратів з виносною гріючою камерою.

Упарення після спиртової барди ускладнюється тим, що в ній знаходиться велика кількість мінеральних солей. При застосуванні для підкислення меляси сірчаної кислоти під час упарювання барди проходить гіпсування поверхні нагріву, а при застосуванні соляної - при концентрації сухих речовин вище 45-50 % починається кристалізація хлористих солей калію, натрію і кальцію.

Всі перелічені вище фактори необхідно враховувати при розробці і підборі випарних апаратів та схем випарних установок.

З різноманітних схем упарювання мелясної барди на багатокорпусних випарних установках на сьогодні найбільше використовуються на спиртових заводів 4-х корпусні випарні установки, що працюють під розрідженням. Застосування 4-х корпусної випарної установки під розрідженням (останній корпус) дозволяє економити гріючу пару, паливо, воду; дозволяє використовувати вторинну пару для обігріву інших споживачів, а відповідно і зменшує витрати на упарювання барди.[3]



## УТИЛІЗАЦІЯ МЕЛЯСНОЇ БАРДИ

Зараз у заводських лабораторіях з органічних речовин мелясної барди можна одержати ряд цінних хімічних сполучень, наприклад: гліцерин, солянокислий бетаїн та його похід глютамінат натрію, амінокислоти, органічні кислоти та солі.

З мінеральних речовин можна одержати поташ, сі кальциновану, хлористий калій, ціанисті сполуки і її речовини. Деякі речовини, одержані з барди, являють собою велику цінність для промисловості, сільського господарства і харчового споживання. До них можна віднесені такі.

Глютамінова кислота —  $\text{COOH}(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}$  міститься у барді в межах 0,6—1,1%. Вона і велику роль у обміні речовин центральної нервової системи і головного мозку.

Глютамінат натрію — натрієва сіль глютамінової кислоти — додають до харчових продуктів для покращення смаку та надання свіжості; запобігає псуванню харчових продуктів при тривалому їх зберіганні і консервуванні, застосовується у виробництві морожених овочів, гарину, харчових концентратів.

Бетаїн —  $(\text{CH}_3)_3\text{NCH}_2\text{CO}$  — метилована похідна внутрішньої солі амінооцтової кислоти. Бетаїн міститься у барді в кількості 0,8—1,4%, він добре розчиняється у воді, в етиловому спирті, нерозчинний у ефірі. З водного розчину спирту бетаїн кристалізується у вигляді крупних блискучих кристалів. Розчини бетаїну мають нейтральну реакцію. Деякі солі бетаїну застосовують як добавки до барвників. З бетаїну одержують ацидин і триметиламін, які є у свою чергу сировиною для синтезу холінхлориду.

Ацидин —  $(\text{CH}_3)_3\text{NCH}_2\text{COOH}$  — хлороводнева сіль і солі бетаїну з характерним запахом слабкої соляної кислоти і смаком лимонної кислоти. Добре розчинний у воді і етиловому спирті. Ацидин застосовують для лікування шлунково-кишкових захворювань.

Триметиламін —  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$  — безбарвний газ, що легко конденсується, розчинний у воді, ефірі, етиловому спирті. Триметиламін одержують з бетаїну при сухій дистиляції густої барди при температурі 700—800° С. За такою схемою

працюють заводи у Коліні (ЧССР) і Герунгзхемі (НДР). При температурі 1000—1100° С одержаний триметиламін перетворюють на синильну кислоту.

При цьому способі виробництва утворюється значна кількість смоли і побічних малоцінних продуктів. Триметиламін використовують для синтезу ряду лікарських речовин. Його також застосовують як стабілізатор у шкіряній промисловості і як каталізатор для виробництва синтетичних полімерів і пластмас. Триметиламін є основною вихідною сировиною для синтезу холінхлориду.

Холінхлорид —  $(\text{CH}_3)_3\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  — являє собою безбарвні сильно гігроскопічні кристали. Легко перетворюється у густу рідину, добре розчинний у водноспиртовому етиловому спирті. Розчини холінхлориду мають лужну реакцію.

Холінхлорид застосовують як лікувальну речовину при жировій дегенерації, для профілактики і лікування склерозних змін венозних судин, для лікування ЗЛО) пухлин. Холінхлорид застосовується як вітамін і має велике біологічне значення у жировому обміні речовин поліуранової кислоти з холінхлоридом і металами зв'язують для лікування хвороб печінки, атеросклерозу вених розладів, викликаних відкладенням холестерину у судинній системі.

Холінхлорид є вітамінізуючою добавкою до комбикормів при відгодівлі свійських тварин та птиці.

Гліцерин —  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  ( $\text{CH}_2\text{OH})_2$  — міститься у в кількості 0,8—0,9%, використовується для технічних потреб.

Хлористі калійні солі містяться у в кількості 2—2,2%. Використовуються як добрива у сільському господарстві.

Кормові дріжджі вирощуються на мелясній барді за рахунок утилізації органічних кислот, угледодів та інших речовин, що містяться у барді. Однак при сильному продуванні повітря і додатковому фосфору і азотному живленні на мелясній барді можуть розмножуватись дріжджові клітини.

З 1 м<sup>3</sup> барди можна одержати до 10—12 кг сухих дріжджів. Кормові дріжджі є дуже цінним білковим кормом згодовування тваринам та птиці. У кормових дріжджах містяться вітаміни А, Е, комплекс вітамінів В<sub>1</sub>, рибофлавін, нікотинова кислота. Наявність вітамінів і стимулює росту у мелясній барді створюють біологічно

сприятне середовище для культивування багатьох мікроорганізмів інститут ботаніки АН УРСР з 1961 р. на Косарському спиртовому заводі провадить дослідницькі роботи по вирощуванню одноклітинних водоростей хлорели глибинним способом на м'ясній барді, що не містить дріжджів, при штучному освітленні. У середовищі, багатому азотом, хлорела може нагромадити (по сухих речовинах) до 88,2% протеїну і 5,2% жирів. Протеїн хлорели за своїм амінокислотним складом повноцінний, його поживна цінність вище, ніж сухого збираного молока або яєчного білка. Хлорела є добрим кормом для тварин і птиці, її застосування вигідніше, ніж застосування сухих кормових дріжджів. При добавлянні гідролізату хлорели у дріжджеві чани, як показали досліди на Львівському дріжджовому заводі, вихід (нагромадження біомаси хлібопекарних дріжджів) збільшується з середньому на 18%. Кормова цінність 1 кг м'ясної барди складає 0,052 кормової одиниці, тобто на 20% вище картопляної [1]. В раціоні кормів для годівлі худоби м'ясної барди повинно бути до 45% (за поживністю). Доцільно згодовувати попередньо згущену м'ясну барду з добавлянням грубих кормів. Для цього упарену до 65% СВ барду перемішують із сухим буряковим жомом і одержують бардяний жом. Сухий бардяний жом не псується при тривалому зберіганні на складах. Заміна сірчаної кислоти, що застосовується на спиртових заводах для підкислення м'яси, соляною підвищує кормові якості барди. Було запропоновано [4] також використовувати барду для стимулювання проростання насіння буряків і одержання високих врожаїв. З цією метою насіння замочують у рідкій барді.

С. М. Будницький довів, що цукробурякова мележ використовується для принаджування шкідників на бурякових плантаціях, може бути; на м'ясною бардою, що має схожі ароматичні і всі властивості. М'ясна барда, крім того, посилює то властивості кишкових отрут, є добрим закріплювачем на рослинах.

Барду можна також використовувати як добриво цього її змішують з сатураційним цукровим осадом з або з торфом.

М'ясну барду після виділення з неї гліцерину та спалювати у топках парових котлів.

Теплотворна здатність барди  $Q_p = 2500 - 4 - 2700$  кк В результаті спалювання згущеної мелясної барди жують 15—16% золи за вагою упареної мелясної такого складу, %:

Поташ ( $K_2CO_3$ )	42—44
Сода ( $Na_2CO_3$ )	20—22
Сірчаноокислий калій ( $K_2SO_4$ )	12—14
Хлористий калій (KCl)	12—15
Фосфорнокислий калій ( $K_3PO_4$ )	.... 0,5—1,5
Нерозчинний осад	6—8
Мікроелементи	Рє, Мп, Си, Со та ін.

Поташ застосовують у скляній промисловості для одержання високоякісного кришталю. Для одержання у тому вигляді солей калію і натрію потрібна додаткова спеціальна хімічна обробка бардяної золи.

Слід відзначити, що використання мелясної барди і додаткове її озолення недоцільне, тому що при комплексній переробці барди можна добути ряд цінних речовин, що вказано раніше.

В результаті науково-дослідних робіт і заводської практики відомо багато технологічних схем переробки мелясної барди. Були розроблені економічні схеми, у яких меті біохімічного синтезу добувають дріжджі і вітаміни, або хімічним методом одержують глютамінат натрію, бетаїн та інші речовини.

У НДР на народному підприємстві в Дессау [3] з барди виробляють: спирти — «пріма», «секунда», технічний, сивушне масло; вуглекислоту рідку і тверду; ціаністі продукти — ціанистий натрій і синильну кислоту; органічні препарати — бетаїн та глютамінову кислоту; добрива — лужний фосфат, сугілля-фосфат, сульфат амонію; кормові продукти — сушені кормові дріжджі; гарячі газу, що спалюються у топках котлів і печах.

Комплексна переробка меляси вперше здійснена на Лохвицькому спиртовому комбінаті, де одержують етиловий спирт і одночасно хлібопекарські дріжджі, вуглекислоту, гліцерин, бетаїн, глютамінову кислоту, мінеральні добрива. З 1 т меляси одержують барду, з якої можна видобути 16,5 кг гліцерину, 18,0

кг солянокислого бетаїну, 17,5 кг глютаміату натрію, 200 кг кормового продукту, 100 кг калійних добрив [3].

На ряді спиртових заводів почали будівництво цехів для одержання кормових дріжджів, станцій упарювання мелясної барди, виробництва глютамінової кислоти та її солей, бетаїну, вітамінів групи В та інших цінних продуктів.

На Іванківському спиртовому заводі у 1963 р. вступив у дію цех по виробництву кормового концентрату вітаміну В<sub>12</sub> з мелясної барди. В кінці 1964 р. вступив у дію перший у Прибалтиці механізований цех по виробництву вітаміну В<sub>12</sub> на Калкунському спиртовому заводі.

Доданий у незначній кількості у корм вітамін В<sub>1п</sub> бере участь у синтезі білкових речовин і є одним з активних факторів росту свійських тварин і птиці. Для обробки 5—10 *ni* комбікормів достатньо 1 *g* цього кристалічного порошку.

У 1965 р. на Андрушівському спиртовому заводі : будівництво цеху по виробництву вітаміну В Річна потреба народного господарства СРС В<sub>12</sub> становить декілька тисяч кілограм. Для виробництва великої кількості вітаміну В<sub>13</sub> передбачається сім цехів. .

Наведено харчовий потенціал продукту. Для проведення науково-дослідних робіт із сушіння після спиртової барди було розроблено технологічний процес та машинно-апаратурну схему виробництва. Ключові слова: після спиртова барда, сушіння, технологічна схема, вологовміст продукту, центрифуга, апарат. Постановка проблеми у загальному вигляді. Останнім часом у світі все більше уваги приділяється збільшенню ресурсів харчового білка, удосконаленню техніки і технології переробки традиційних і нетрадиційних сировинних ресурсів у різних галузях харчової промисловості, розширенню асортименту повноцінних продуктів харчування. Одним із способів вирішення проблеми збільшення ресурсів білка є використання вторинних сировинних ресурсів. Останнім часом в Україні використання вторинної сировини підприємств харчової промисловості набуває все більшої актуальності. Великі обсяги промислової переробки різноманітної сировини рослинного походження на харчові цілі становлять значний потенціал для агропромислового комплексу. Це стосується й після спиртової барди, яка являє

собою сировину, що містить білки, жири, вуглеводи та незамінні амінокислоти. Отже, унаслідок утилізації після спиртової барди не тільки забруднюється довкілля, а й нераціонально використовуються харчові ресурси такого цінного продукту. Вирішення проблеми, яка є нагальною, – це консервування нативної після спиртової барди для подальшого її використання в харчових продуктах. При цьому переваги сушеної після спиртової барди перед нативною є такими: - можливість транспортування на великі відстані; - тривалий термін зберігання сушеної після спиртової барди; - використання в технології виробництва хліба; - використання як білкової добавки. Отже, актуальним завданням є розробка нових і модернізація існуючих способів сушіння. Одним із таких способів є сушіння [1] у псевдо зрідженому шарі інертного носія, який для сушіння після спиртової барди до цього не використовувався через складність перебігу процесу. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогодні як у Сумському регіоні, так і загалом в Україні для підприємств спиртової промисловості залишається не вирішеним питання переробки відходів спиртового виробництва. У процесі одержання спирту утворюється значна кількість відходів виробництва – після спиртова барда, яка, потрапляючи в навколишнє середовище, спричиняє його забруднення. Разом із тим барда має достатньо високу харчову цінність, оскільки в її складі міститься білок зерна. У сільському господарстві багатьох країн широко застосовують продукти переробки барди, тоді як в Україні її використовують частково або взагалі зливають на поля фільтрації. Це недоцільно і незручно, оскільки після спиртова барда починає псуватися вже через декілька годин після її виробництва. Разом із тим сушена після спиртова барда з вологістю 10–11% може зберігатися кілька років. Крім того, після спиртову барду використовують у виробництві хліба та як харчову добавку з біологічно активними речовинами [2–4].

Отже, унаслідок утилізації після спиртової барди не тільки забруднюється довкілля, а й нераціонально використовуються харчові ресурси такого цінного продукту. Важливим джерелом зменшення собівартості висушеного продукту є інтенсифікація процесу сушіння завдяки ефективному використанню об'єму

сушарки [5]. Харчовий потенціал після спиртової барди Для інтенсифікації сушильних апаратів слід прагнути до збільшення поверхні фазового контакту. Крім того, необхідно збільшувати відносну швидкість дисперсної і газової фази, яка збільшує рушійну силу процесу сушіння і зменшує витрату теплоносія на сушіння. Промислове виробництво етилового спирту побудовано на принципах відхідної технології, що негативно впливає на стан навколишнього середовища. У наш час одним із резервів зростання ефективності харчових виробництв є підвищення стабільності виробництва і, як наслідок, зменшення втрат сировини і готової продукції за умови забезпечення стабільної якості протягом усього технологічного циклу. В основу дослідження цього напрямку покладено теорію технологічного потоку, яка дозволяє створити стійкі, точно функціонуючі технологічні системи [4]. Значно підвищити ефективність, рентабельність роботи конкретного виробництва на підприємстві можна не тільки завдяки технічному переоснащенню, а й унаслідок більш чіткої організації—як системи взаємозв'язку режимів функціонування обладнання і технології. Сьогодні у світі розповсюджені різноманітні лінії для виробництва із після спиртової барди сушеної білкової добавки з вологістю 10%. Однак головним недоліком цих ліній є складність і металоємкість виробництва через використання сушарок переважно роторно-барабанних, що обумовлює високі експлуатаційні витрати. Отже, виникає необхідність в організації переробки після спиртової барди із застосуванням технологічної лінії зі стійким потоком із меншими витратами. Як сушильний пристрій використовують сушарку у псевдо зрідженому шарі інертного носія, яка забезпечує оптимальний режим сушіння і реалізує активний гідродинамічний режим. Під час руху частинок барди у псевдо зрідженому шарі відбувається безперервна їх взаємодія з інертним носієм (фторопластовою крихтою), одна з одною та зі стінкою сушарки, що приводить до збільшення відносної швидкості руху взаємодіючих фаз, зменшення часу перебування матеріалу в апараті, підвищення концентрації твердої фази. Після сушарки барда має вологість ( $10 \pm 2\%$ ), із сушильної камери вона потрапляє в пиловловлювач, звідти у збірник готового продукту, де упаковується на пристрої, наприклад у мішки. Суха барда містить не менше 60% харчових волокон і 25% білка. Певна кількість сухих

речовин (до 2,5%) залишається у фугаті . Раніше цей продукт по магістралі відводився у відстійники. Із цієї причини запропонована технологічна лінія оснащена пристроєм для концентрування фугату – пластинчастими випарними апаратами. Після центрифугування фугат потрапляє на випарну станцію. Випарні апарати працюють за низького тиску пари, під розрядженням. Таким чином, розроблена технологічна лінія переробки після спиртової барди має певні переваги: – запропоновано оригінальний спосіб сушіння у псевдо зрідженому шарі інертного носія, який базується на кінематичних закономірностях, забезпечуючи стовідсоткове контактування теплоносія і висушеного продукту з інертними тілами, що дозволяє інтенсифікувати процес, досягнути необхідної продуктивності та якості сушіння; – використання вентилятора і калорифера дозволяє отримати сухе гаряче повітря потрібної температури, запобігаючи потемнінню барди. Висновки. На сьогодні дана технологія є найбільш перспективною, вона дозволяє отримати якісний продукт разом із низькими капітальними й експлуатаційними витратами для подальшого використання продукту в харчовій промисловості.

### УПАРЮВАННЯ МЕЛЯСНОЇ БАРДИ

Барду упарюють на багатокорпусних випарних станціях з кількарізним використанням пари. Така випарна станція складається з кількох випарних апаратів або корпусів, через які послідовно проходить упарювана барда. Тільки I корпус багатокорпусної випарної станції обігрівается мя'тою парою. Вторинна пара кожного попереднього корпусу використовується для обігрівання наступного. Зниження температури кипіння у кожному наступному корпусі, необхідне для здійснення теплопередачі, відбувається за рахунок зниження тиску, при якому кипить барда.

Вторинну пару з останнього корпусу спрямовують у конденсатор, а гази, що не сконденсувались, викачують повітряним насосом, який створює розрідження до 630 мм рт. ст.

Таким чином при кількарізному використанні пари у випарній установці заощаджується ретурна пара, що робить багатокорпусну випарну станцію набагато економніше , ніж однокорпусну.



Упарювання мелясної барди має деякі особливості, з них є спінювання барди, що обумовлює застосування випарних апаратів з виносною нагрівальною поверх

При упарюванні барди верхня границя темпера гріючої пари повинна бути обмежена ( $140—142^{\circ}$  С). Інші сахари, що залишилися у барді, будуть карамелізуватись, а амінокислоти — розкладатись. Така -барда непридана для дальшого використання.

Особливості упарювання барди позначаються на те віддачі при її кипінні. Тепловіддача при кипінні багато понентних систем, якою є мелясна барда, являє собою складний процес, і до цього часу недостатньо вивчений.

При кипінні температура частинок барди, що етика ся з поверхнею, дорівнює температурі поверхні. Так на нагрівній поверхні і поблизу неї кипляча барда перегріта у порівнянні з температурою насичення. Оскільки б, змочує поверхню і зовнішній тиск постійний, бульба пари зароджуються тільки на нагрівній поверхні у цен пароутворення.

Як відомо [3], при бульбашковому кипінні більша частина нагрівної поверхні стикається з бардою, якій віддається основна частина тепла. Це тепло потім витрачає на додаткове випаровування води всередину парових бульбашок, які відриваються від нагрівної поверхні і збільш] свій об'єм під час руху у товщі барди, оскільки барда дещо перегрітою відносно утворюваної пари.

Ріст бульбашок на нагрівній поверхні, відокремлення їх від поверхні і дальший рух викликають перемішування барди біля поверхні та в усьому об'ємі і тим самим передбачають інтенсивність тепловіддачі від поверхні до барди.

Тому, чим більше бульбашок відокремлюється від поверхні і більше діючих центрів пароутворення на одиницю утворюваної поверхні, тим вище коефіцієнт тепловіддачі до киплячої барди (за однакових умов).

Таким чином, інтенсивність тепловіддачі при кипінні барди визначається кількістю тепла, яке сприймається бардою, що в свою чергу визначається умовами пароутворення і пов'язаною з ними турбулізацією пограничного шару.

Кількість тепла при кипінні, що сприймається бардою (за інших однакових умов), визначається питомим тепловим навантаженням  $q$ , або, що те ж саме,

різницею температур між поверхнею, що віддає тепло, і киплячою бардою  $D/a$ . Зі збільшенням  $\mu$  збільшується частота відокремлення бульбашок пари і число центрів пароутворення  $i$ , як наслідок, коефіцієнт тепловіддачі. Зі збільшенням кількості центрів пароутворення зменшується площа стикання барди з поверхнею, що віддає тепло, але збільшується турбулізація пограничного шару барди, що сприятливо позначається на інтенсивності тепловіддачі. Однак при значному зростанні теплового навантаження  $q$  відбувається злиття бульбашок пари у суцільну парову плівку, яка ізолює киплячу барду від нагрівної поверхні і тепловіддача різко зменшується.

Розглядаючи суть процесу кипіння, слід відзначити, що фізика процесу кипіння в основному залишається однаковою як при кипінні барди у великому об'ємі, так і у вертикальних трубах при природній циркуляції, однак визначальні фактори тепловіддачі при кипінні барди-у контурі з природною циркуляцією більш складні. При кипінні в трубах з'являються такі нові фактори, як вміст пари у потоці, швидкість циркуляції, геометричні розміри установки, які впливають на процес пароутворення.

Швидкість циркуляції барди в трубах при її кипінні впливає на тепловіддачу не тільки у зв'язку із збільшенням турбулізації потоку, а, й головним чином, у зв'язку з посиленням процесу пароутворення.

Дійсно, пароводяний потік повинен відривати бульбашки пари від поверхні дещо раніше, ніж вони досягнуть розмірів бульбашок на поверхнях, які не омиваються .

Зі збільшенням швидкості відривний діаметр бульб повинен знижуватись і, як наслідок, частота утворення бульбашок біля одного центру пароутворення — зростає. Це призводить до зростання коефіцієнтів тепловіддачі збільшення інтенсивності теплообміну.

З викладеного видно, що теплообмін при кипінні : собою складний процес, що залежить від таких основних факторів: фізичних властивостей киплячої барди, величини теплового потоку або, що те ж саме, температурного перепаду, швидкості циркуляції киплячої барди при кипі] в трубах, тиску над поверхнею випаровування,

при і стану нагрівної поверхні, паровмісту суміші. Вплив кожного з них до цього часу вивчено недостатньо. [3].

Проте до цього часу повністю не з'ясовано вплив на них характеристик рідини, і, зокрема, вплив в'язкості тепловіддачу при кипінні. Отже, вирішення цього питання потребує дальших досліджень. Експериментальне визначення коефіцієнтів теш дачі при упарюванні мелясної барди здійснювали при тепловому випробуванні випарної станції Лохвицького спиртового комбінату [3].

Дослідження проводились на мелясній барді, як; одержана при переробці меляси, підкисленої со кислотою.

У 1964 р. на комбінаті змонтована така ж випарна ція з більшою нагрівною поверхнею корпусів. По було дослідити таке:

- а) числове значення коефіцієнтів теплопередачі при упарюванні барди для всіх корпусів випарної станції;
- б) дані про 'зміну значень коефіцієнтів теплопередачі в залежності від часу випарювання при забрудненні нагрівної поверхні;
- в) числові значення коефіцієнтів використання нагрівної поверхні для всіх корпусів випарної станції.

Станція упарювання барди Лохвицького спиртового комбінату складалась з чотирьох корпусів. I, II, III кої працювали під тиском, а IV — під розрідженням.

Кожний корпус випарної установки складався з сепаратора і двох трубчастих однакових кип'ятильників, на поверхня яких виготовлена з труб діаметром 52/Е довжиною 4000 мм. Матеріал труб — нержавіюча 1Х18Н9Т. Загальна нагрівна поверхня корпусів I - 215; II — 200; III — 190; IV — 225 м<sup>2</sup>. I корпус випарної станції обігрівався ретурною парою тиском до 4 ата. У грійні камери кип'ятильників II корпуса надходила вторинна пара I корпуса тиском до 3 ата. Кип'ятильники III корпуса обігрівались вторинною парою II корпуса тиском 2,4 ата, а кип'ятильники IV корпуса — вторинною парою III корпуса тиском до 1,8 ата. Розрідження в сепараторі IV корпуса досягало 670 мм рт. ст. При

надходженні у I корпус барди з вмістом 8,7% СР вміст сухих речовин у барді I корпуса складав 11,5%, II корпуса— 15,0%, III—22,0%. Вміст сухих речовин в упареній барді складав 75%. Випарна станція працювала у режимі постійного температурного перепаду. Для підігрівання барди, що надходить на випарну станцію, до температури її кипіння в I корпусі встановлено три трубчасті шестиходові підігрівники. Перший з них (за ходом продукту) з нагрівною поверхнею 100 м<sup>2</sup> обігрівався вторинною парою II корпуса, другий — з нагрівною поверхнею 100 м<sup>2</sup> обігрівався вторинною парою I корпуса, третій — з нагрівною поверхнею 65 м<sup>2</sup> — ретурною парою.

Діаметр трубок підігрівників 26/32 мм, довжина — 3500 мм, матеріал — нержавіюча сталь 1X18H9T. Оскільки вторинні пари агресивні, то й кожухи кип'ятильників (крім I корпуса) і підігрівників (крім третього) виготовлені з нержавіючої сталі 1X18H9T.

Відсепарована мелясна барда з вмістом приблизно 9% СР і температурою 85° С надходила в цех упарювання, де проходила послідовно через три підігрівники, а потім — у кип'ятильники I корпуса випарної станції. У першому підігрівнику мелясна барда нагрівалася до температури 105° С, у другому — до 120°С і в третьому — до температури кипіння мелясної барди у I корпусі.

На описаній випарній станції проведено дві серії дослідів по тепловому її випробуванню [18]. У першій серії дослідів випробування почались на п'яту добу після виварювання випарної станції і закінчились напередодні наступного виварювання випарної станції. У другій серії дослідів випробування охоплюють період перед виварюванням випарної станції і період часу безпосередньо після чищення нагрівних поверхонь, яке провадилось механічним і хімічним методами.

Результати проведених дослідів по визначенню значень коефіцієнтів теплопередачі для всіх корпусів випарної станції і зміни величини цих коефіцієнтів у часі в з'язку з забрудненням нагрівних поверхонь наведені на рис. 18.

З рисунка видно, що коефіцієнти теплопередачі  $K$  зменшуються в міру забруднення нагрівних поверхонь випарної станції. На 25 добу роботи випарної станції після виварювання ці коефіцієнти зменшились на 45—65%.

При порівнянні дослідні значення коефіцієнтів теплопередачі  $K$  корпусів I і II для першої доби випарної станції після виварювання (одержані екстраполяцією) збігаються з відповідними розрахунковими значеннями  $K_{\text{н}}$  для технічно чистих нагрівних поверхонь. Для III і IV корпусів такого збігу не спостерігається.

Розрахункові значення коефіцієнтів теплопередачі  $K_a$  вищі від відповідних дослідних значень, оскільки в процесі експлуатації нагрівника поверхня з боку пари забруднюється внаслідок перекидання барди із сепаратора у парову камеру кип'ятильників.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Опис технологічної схеми виробництва

Після спиртову мелясну барду згущують на багатокорпусних випарних установках, що працюють як під розрідженням (останній корпус) так і під тиском. При упарюванні барди на спиртових заводах прийнята прямоточна схема живлення – розчин (барда) і гріюча пара подається спочатку в перший корпус, а потім в другий і так д.

Свіжий пар – ретурний або гострий пар, який пройшов редуціювання, подається, як правило, лише на перший корпус випарної установки, кожен із наступних корпусів живиться парою попереднього – вторинною парою. Теплопередача при цьому відбувається з рахунок зниження тиску, а відповідно і температури кипіння барди в кожному корпусі порівняно з попереднім.

Однією з характерних властивостей мелясної барди є властивість швидко пінитись при кипінні, що обумовлює необхідність застосування випарних апаратів з виносною граючою камерою.

Упарення після спиртової барди ускладнюється тим, що в ній знаходиться велика кількість мінеральних солей. При застосуванні для підкислення меляси сірчаної кислоти під час упарювання барди проходить гіпсування поверхні нагріву, а при застосуванні соляної – при концентрації сухих речовин вище 45-55% починається кристалізація хлористих солей калію, натрію і кальцію.

Всі перелічені вище фактори необхідно враховувати при розробці і підборі випарних апаратів та схем випарних установок.

З різноманітних схем упарювання мелясної барди на багатокорпусних випарних установках на сьогодні найбільше використовуються на спиртових заводів 4-х корпусної випарної установки під розрідженням (останній корпус) дозволяє економити гріючу пару, паливо, воду, дозволяє використовувати вторинну пару для обігріву інших споживачів, а відповідно і зменшує витрати на упарювання барди.

Барда концентрацією сухих речовин в ній 8%, відводиться із бражної колони в збірник барди, звідки відцентровим насосом подається на першу групу підігрівачів (поз. 1) перед випаркою (див. рис. 2.1). за допомогою вторинної пари з другого корпусу (поз. 5) випарної установки (ВУ) барда нагрівається до температури 105 С і поступає на другу групу підігрівачів (поз. 4) ВУ барда нагрівається до температури 120 С і переходить в підігрівачі третьої групи (поз. 3), де граючою парою нагрівається до температури кипіння 131 С. барда в підігрівачах подається в трубний простір, а пара - в між трубний, для полегшення їх очищення і ремонту.

Нагріта барда до температури кипіння упарюється у випарному апараті 1-го корпусу випарної станції (поз. 8,4) до концентрації сухих речовин 14,1% мас., далі переходить у 2-й корпус випарної станції (поз. 9, 5) де упарюється до 20,5% мас. с. р., в 3-му корпусі (поз. 10, 6) до 30,9%.с.р. і в 4-му корпусі – до кінцевої концентрації сухих речовин 72%мас. у випарних апаратах барда рухається по кип'ятильним трубам, та циркуляційним трубам, а в між трубний простір подається пара. В перший корпус випарної станції (поз. 8) подається гріюча пара тиском 4 ат, в другий корпус (поз. 9) вторинна пара першого корпусу (поз. 4), яка також поступає в теплообмінник бражної колони, в третій (поз. 10) – вторинна пара другого (поз. 5) і в четвертий корпус (поз. 11) – вторинна пара третього корпусу (поз. 6). Утворена вторинна пара четвертого корпусу (поз. 7) направляється на барометричний конденсатор (поз. 12), де за допомогою подачі холодної води повністю конденсується і тим самим створює розрідження в останньому корпусі випарки. Одержана в процесі конденсації вода має назву барометрична і накопичується у збірнику (поз. 21), звідки насосом (поз. 20) відкачується на використання.

Конденсат граючої пари (з третьої групи підігрівачів (поз. 3) і першого корпусу випарки (поз. 8)) спрямовується у збірник конденсату (поз. 13) звідки надходить в збірник-випарник (поз.13), з'єднаний з паровим простором 2-го корпусу. Пара, що утворюється у випарнику, іде на обігрівання кип'ятильників 3-го корпусу. Конденсат перекачується на живлення парових котлів у ТЕЦ.

Конденсат з 2-го корпусу (поз. 9) випарної станції накопичується у відповідному збірнику (поз. 14), туди також поступає конденсат з 2-ї групи

підігрівачів (поз. 2), пари, що утворюються в збірнику поступають на нагрівання кип'ятильників 3-го корпусу, конденсат з 3-го корпусу (поз. 10) випарної станції накопичується у відповідному збірнику (поз. 15), туди також поступає конденсат з 1-ї групи підігрівачів (поз. 1) пари, що утворюються в збірнику поступають на нагрівання кип'ятильників 4-го корпусу, конденсат з 4-го корпусу (поз. 11) випарної станції накопичується у відповідному збірнику (поз. 16) пари, що утворюються в збірнику поступають на барометричний конденсатор. Із цих збірників конденсат відцентровим насосом (поз. 19) відкачується в умовно чисті води.

## 2.2 Теоретичні основи процесу

У процесі одержання спирту утворюється значна кількість відходів виробництва – після спиртова барда, яка, потрапляючи в навколишнє середовище, спричиняє його забруднення. Разом із тим барда має достатньо високу харчову цінність, оскільки в її складі міститься білок зерна. У сільському господарстві багатьох країн широко застосовують продукти переробки барди, тоді як в Україні її використовують частково або взагалі зливають на поля фільтрації. Це недоцільно і незручно, оскільки після спиртова барда починає псуватися вже через декілька годин після її виробництва. Разом із тим сушена після спиртова барда з вологістю 10–11% може зберігатися кілька років. Крім того, після спиртову барду використовують у виробництві хліба та як харчову добавку з біологічно активними речовинами [2–4]. Після спиртової барди являє собою сировину, що містить білки, жири, вуглеводи (рис. 1) та незамінні амінокислоти. Отже, унаслідок утилізації після спиртової барди не тільки забруднюється довкілля, а й нераціонально використовуються харчові ресурси такого цінного продукту. Важливим джерелом зменшення собівартості висушеного продукту є інтенсифікація процесу сушіння завдяки ефективному використанню об'єму сушарки [5]. Рис. 1. Харчовий потенціал після спиртової барди Для інтенсифікації сушильних апаратів слід прагнути до збільшення поверхні фазового контакту. Крім того, необхідно збільшувати відносну швидкість дисперсної і газової фази, яка збільшує рушійну силу процесу сушіння і



зменшує витрату теплоносія на сушіння. Промислове виробництво етилового спирту побудовано на принципах відхідної технології, що негативно впливає на стан навколишнього середовища. У наш час одним із резервів зростання ефективності харчових виробництв є підвищення стабільності виробництва і, як наслідок, зменшення втрат сировини і готової продукції за умови забезпечення стабільної якості протягом усього технологічного циклу. В основу дослідження цього напрямку покладено теорію технологічного потоку, яка дозволяє створити стійкі, точно функціонуючі технологічні системи [6]. Значно підвищити ефективність, рентабельність роботи конкретного виробництва на підприємстві можна не тільки завдяки технічному переоснащенню, а й унаслідок більш чіткої організації—як системи взаємозв'язку режимів функціонування обладнання і технології. Випарювання — процес концентрування розчинів нелетких речовин випаровуванням розчинника в процесі кипіння. Внаслідок випарювання із розчину видаляється розчинник, а нелеткі речовини залишаються в розчині в незмінній кількості, але в концентрованому стані. Випарювання дає змогу одержати не лише концентровані розчини, а й перенасичені, в яких відбувається кристалізація з метою виділення нелетких речовин у твердому вигляді (наприклад, кристалічного цукру, кухонної солі тощо). У ряді випадків випарюванням користуються, щоб одержати чистий розчинник (дистилят).

Випарювання широко застосовують у цукровому, консервному, кондитерському, молочному та інших виробництвах для концентрування цукрових та вітамінних сиропів, плодових і овочевих соків, фруктово-ягідних начинок, молока, вершків та ін. Особливо важливий цей процес при виробництві цукру. Процес випарювання здійснюють у випарних апаратах, що складаються із двох основних елементів: нагрівальної камери і сепараційного простору (паросепаратора). У нагрівальній камері теплота передається від теплоносія до киплячого розчину, у паросепараторі від киплячого розчину відділяється пара.

На випарювання витрачається велика кількість теплоти. Як теплоносіїй найчастіше використовують водяну пару, що конденсується, рідше — димові газы, високотемпературні теплоносії і дуже рідко — електричний струм.

У харчовій промисловості випарюванню найчастіше підлягають водні розчини, тому випарений розчинник являє собою практично чисту водяну пару, що має назву вторинної пари, яку доцільно використовувати повторно. Теплоносієм є, як правило, водяна пара, яку називають нагрівною або первинною парою.

У процесі випарювання в міру концентрування змінюються фізичні властивості розчину: зі збільшенням концентрації сухої речовини (СР) підвищуються густина, в'язкість, температура кипіння розчину, знижуються його теплоємність і теплопровідність, що призводить до зниження коефіцієнта тепловіддачі й суттєво впливає на температурний і гідродинамічний режими роботи апарата. Концентрування розчину призводить до відкладання накипу (інкрустації поверхні теплопередачі) і виділення кристалів розчинених речовин.

Випарювання можна проводити при різному тиску, що дає змогу змінювати температуру кипіння розчину. Випарювання при пониженому тиску дає можливість знижувати температуру кипіння розчину. При підвищеному тиску зростає температура кипіння і з'являється можливість використовувати вторинну пару, але це може призвести до термічного розкладання ряду органічних речовин і кінцевий продукт може набути небажаного смаку, запаху, кольору або навіть змінити хімічний склад. Щоб зберегти якість термолабільних (термічно нестійких) продуктів (особливо концентрованих), випарювання слід проводити при найнижчих температурах, що досягається застосуванням розрідження. Для цього вторинну пару треба або відсмоктувати вакуумним насосом, або подавати в конденсатор, де вона конденсується при тиску, нижчому за атмосферний.

Причиною випаровування з вільної поверхні рідини є тепловий рух її молекул. Після нагрівання рідини до відповідної температури в ній з'являються молекули, що володіють енергією, яка дозволяє їм подолати сили зчеплення і піти в довкілля. Проте не всі ці молекули залишаються в довкіллі: після зіткнення з молекулами газу частина їх повертається до поверхні випаровування. Молекули, що повертаються, можна розподілити на дві частини. Молекули з достатньо високою кінетичною енергією, переборюючи значні сили зчеплення поверхневого шару рідини, проникають усередину та залишаються в ній. Інша частина молекул з менш високим

енергетичним рівнем відбивається від поверхні рідини і остаточно залишається в довкіллі.

Кипінням називається процес переходу рідини, що знаходиться при температурі насичення або дещо перегрітої відносно цієї температури, в пару всередині її об'єму з утворенням парових бульбашок. Процес пароутворення пов'язаний з підведенням теплоти, необхідної для фазового переходу рідини в пару, що називається теплотою пароутворення.

Температура киплячої рідини непостійна, вона зменшується в міру віддалення від поверхні нагрівання.

Випарювання можна здійснювати в окремих випарних апаратах (однокорпусні випарні установки) або в ряді послідовно з'єднаних випарних апаратів - у багатокорпусних випарних установках (БВУ). За режимом проведення процесу розрізняють періодичне і безперервне випарювання. Періодичне випарювання здійснюють в окремих апаратах, безперервне — як в окремих, так і в БВУ. При періодичному випарюванні початковий розчин спочатку доводять до температури кипіння. Під час кипіння розчин концентрується до заданого вмісту СР.

Періодичне випарювання застосовують у малотоннажних виробництвах, коли потрібно досягти високих концентрацій розчинів, а також тоді, коли випарювання супроводжується іншими технологічними процесами, що відбуваються в цьому самому апараті (наприклад, кристалізацією).

При безперервному випарюванні маємо усталений процес у часі, тобто в установку безперервно в постійній кількості надходять початковий розчин і нагрівна пара, а з установки також безперервно і в постійній кількості відводяться концентрований розчин (кінцевий продукт), вторинна пара і конденсат нагрівної пари.

Для випарювання 1 кг води в окремому апараті потрібно 1,03...1,1 кг нагрівної пари. З такою витратою її можна погодитися лише тоді, коли випарювання в однокорпусних апаратах зумовлене технологічними вимогам.

Процес випарювання розчинника з розчину можна проводити під вакуумом, за атмосферним та підвищеним тиском.

Під час випарювання під вакуумом знижується температура кипіння розчину, що дає можливість використати для обігрівання апарату пару низького тиску. Цей спосіб особливо застосовується під час випарювання харчових розчинів, чутливих до високих температур. Перевагою процесу випарювання під вакуумом є: зменшення трат теплоти в навколишнє середовище, а також збільшення корисної різниці температур між гріючою парою та киплячим розчином. Це дає змогу зменшити поверхню теплообміну та габарити всього вакуум-випарного апарата.

При випарюванні під атмосферним тиском утворена вторинна пара звичайно не використовується і викидається в атмосферу.

Випарювання за підвищеного тиску викликає підвищення температури кипіння розчину і дає можливість використання вторинної пари як теплоносія в інших теплообмінниках. Можливість застосування цього способу випарювання залежить від стійкості компонентів розчину, що випарюється.

Кипіння проходить в розчині при умові, коли тиск парів розчинника дорівнює загальному тиску в над рідинному просторі, особливістю процесу є постійна температура кипіння при повному тиску і заданому складі розчину. По мірі згущення розчину його фізичні властивості змінюються ще має значення для розрахунків, конструювання і експлуатації випарної апаратури.

В процесі випарювання концентрація сухих речовин в розчині збільшується від початкового до кінцевого значення. При цьому концентрація змінюється спочатку швидко, а потім повільніше. На практиці кінцева концентрація визначається технологічними умовами. При підвищенні концентрації змінюються властивості розчину: температура кипіння, теплопровідність, в'язкість, що впливає на умови теплопередачі і змінює режим роботи випарного апарата.

При заданому тиску температура кипіння розчину вища від температури насиченої пари, що знаходиться над розчином на величину фізико-хімічної депресії. В процесі випарювання розчину при постійному тиску температура кипіння його підвищується в результаті збільшення концентрації. При цьому збільшення густини розчину і зменшення теплопровідності його та теплоємності, збільшується також

(особливо для барди і цукрових розчинів) в'язкість, одночасно падає теплопровідність від поверхні нагріву до киплячого розчину.

Утворення накипу на стінках випарного апарату, як правило збільшення концентрації розчину збільшує утворення накипу. При підвищенні концентрації розчинених речовин і підвищення температури кипіння органічних речовин, останні швидко розкладаються в результаті кінцевий продукт може набути неприємного запаху, кольору або змінити смакові якості.

Тому для зберігання якості продукту, концентровані розчини випаровують під розрідженням при знижених температурних режимах. З цією метою на заводах використовують випарні установки. Значення коефіцієнтів теплопередачі для киплячих рідин обчислюють за критеріальними рівняннями, критерії яких складені з величин, що характеризують теплофізичні властивості киплячої рідини і пари, що утворюється внаслідок кипіння. Для обчислення значень критеріїв, що входять у найбільш поширені критеріальні рівняння Г. М. Кружиліна, С. С. Кутателадзе, А. М. Кичигіна, Н. Ю. Тобілевича, В. І. Толубинського, необхідно мати значення коефіцієнтів в'язкості і теплопровідності, теплоємності, питомої ваги та поверхневого натягу мелясної барди. Без цих величин неможлива критеріальна обробка дослідних даних з тепловіддачі під час кипіння мелясної барди у вказаних критеріальних системах. Тому були експериментально визначені всі необхідні теплофізичні параметри мелясної барди.

### 2.3. Опис конструкції проектного апарата

Випарна установка складається з трьох підігрівників, чотирьох однакових випарних апаратів, барометричного конденсатора і допоміжного обладнання. Підігрівники являють собою вертикальні трубчасті шестиходові теплообмінники.

Випарна установка повністю виготовлена з нержавіючої сталі 1X18H9T.

Кип'ятильники 1-го корпусу і третій підігрівник обігрівуються первинною парою. Вторинна пара 1-го корпусу надходить у підігрівну камеру 2-го корпусу, другий підігрівник (п. 2) і підігрівник бражної колони. У 2-му корпусі барда

концентрується до 22 % СР. Вторинною парою з сепаратора 2-го корпусу обігриваються кип'ятильники 3-го корпусу і перший підігрівник барди перед випаркою (п. 3). У 3-му концентрація барди підвищується до 34 % СР. Вторинною парою з 3-го корпусу обігриваються кип'ятильники 4-го корпусу. Барда згущується до концентрації 75 % СР. Вторинна пара з сепаратора 4-го корпусу надходить в барометричний конденсатор.

Конденсат пари з підігрівних камер кип'ятильників 4-го корпусу і третього підігрівника спрямовується у збірник конденсату, звідки надходить в збірник-випарник, з'єднаний з паровим простором 2-го корпусу. Пара, що утворюється у випарнику, іде на обігривання кип'ятильників 3-го корпусу.

Конденсати 2-го, 3-го і 4-го корпусів збираються у відповідні збірники. Випарний апарат з виносною поверхнею теплообміну відноситься до вертикальних апаратів з багаторазовою циркуляцією продукту - барди.

Апарат може працювати як під тиском так і під вакуумом, що робить його універсальним і практичним. Випарний апарат складається із сепаратора і кип'ятильника, які тангенціально під'єднані.

Кип'ятильник представляє собою циліндричний корпус, до якого закріплена кришка і днище за допомогою фланцевого з'єднання. В корпус кип'ятильника вмонтовані трубні решітки, що приварені, а в останні закріплені трубки діаметром 52 2.5 мм, що утворюють парову камеру.

Парова камера обладнана патрубком для подачі гріючої пари, патрубком для відведення конденсату пари та патрубком для виходу неконденсованих газів. Частина кип'ятильника вище верхньої трубної решітки утворює над трубний простір, який більший за під трубний із-за наявності в барді утворених вторинних парів.

Сепаратор випарного апарата складається із циліндричного корпусу з приварними дном та випуклою кришкою. В верхній частині сепаратора закріплений відбивний зонтик, що призначений для відділення вторинної пари капель барди. Останні осідають на сепараторі, затримуються і стікають зверху - вниз по стінкам

апарата. Для контролю рівня барди, а також контролю процесу упарювання барди, по висоті апарата передбачено встановлення оглядових склянок.

Апарат обладнується лазом для огляду і проведення ремонтних робіт. Сепаратор і кип'ятильник закріплені на міжповерховому просторі за допомогою опорних лап. Для гасіння піни передбачається патрубок, через який задається піногасник.

Барда надходить в трубний простір кип'ятильника через патрубок і за рахунок тиску нових порцій барди підіймається по кип'ятильним трубкам знизу-вгору. Останні обігриваються в трубках барда, разом з утвореною вторинною парою, входить через з'єднувальну комунікацію в сепаратор. За рахунок збільшення площі поперечного перерізу сепаратора, швидкість паро рідинної суміші зменшується, барда при цьому опускається вниз, пари ж підіймаються вгору, проходять сепаратор і звільнившись від домішок та капель виводяться через патрубок, а відділені каплі барди повертаються в основну масу.

Днище сепаратора має два патрубки для виходу барди. По одному з них, барда повертається назад в кип'ятильник, де змішується зі свіжою і знову циркулює по кип'ятильним трубкам знизу - вгору, процес упарювання повторюється. Деяка ж кількість барди направляється через інший патрубок в кип'ятильник наступного корпусу на наступну ступінь упарювання. Таким чином в апараті проходить багаторазова звичайна циркуляція барди до необхідної концентрації.

Апарат обладнується патрубками для встановлення контрольно-вимірювальних приладів (термометрів і манометра), ам'ячних витяжок, виходу залишку з сепаратора і кип'ятильника, регулювання рівня, а також передбачено встановлення запобіжного клапана.

При очищенні поверхні нагріву вилучають відкладені на стінках апарату (трубках) мінеральні та органічні речовини, які є в складі продукту що нагрівається.

Для ремонту трубчатки кип'ятильника застосовують такі види очищення від накипу: хімічне, термічне, гідравлічне, механічне.

Найбільш поширена механічна та хімічна очистка сталевих труб. Механічна очистка проводиться за допомогою шарошок, які приводяться в обертальний рух від

електродвигуна через гнучкий вал, або гідротурбіни. Очищення труб проводять зверху вниз і під час чищення в трубу подається вода для зливу накипу і охолодження шарошок. Кожну трубу «проходять» шарошками зверху вниз і назад, якщо при цьому шар накипу знятий не повністю, операцію повторюють.

При хімічному очищенні апаратів (промивання станції випарювання барди лугом), останні промиваються розчином лугу підігрітим до температури 100 С. Після цього установка прокачується водою, а потім розчином барди.

Очищення поверхні нагріву (механічна) повинна закінчуватися перевіркою якості виконаної роботи. Для цього уважно оглядають очищені поверхні, освітлюючи їх низьковольтною електролампю або іншим джерелом світла.

## 2.4 Технологічні розрахунки та визначення конструктивних розмірів апарата

Вихідні дані: Виробнича потужність спиртового заводу по етиловому спирту 5000 дал/доб., вихід барди 11,4 кг на 1дал спирту, початкова і кінцева концентрації барди  $V_n=8\%$ ,  $V_k=72\%$ .

Проводимо по [4]

Вихід барди приблизно в 11,4 разів більше отриманого продукту, тому згідно [4, с. 84] її кількість становитиме:

$$S = (P \cdot 10 \cdot \rho) / 24 \cdot 3600 = (5000 \cdot 10 \cdot 0,7624 \cdot 11,4) / 24 = 18105 \text{ кг/год.} \quad (2.1)$$

де  $P=5000$  дал/доб.-виробнича потужність заводу по спирту;

$\rho=0,76$  кг/л-густина спирту.

Початкова температура барди 85°C. В першому підігрівачі вона нагрівається до 105 °С, в другому до 120 °С і в третьому до температури, яка відповідає температурі кипіння барди в першому корпусі 131°C. Температура гріючої пари 143 °С; розрідження в конденсаторі  $0,89 \cdot 10^5$  Па (670 мм рт. ст.).



Перш за все визначимо розподіл паро відбору по корпусам. Витрата пари на підігрівачі [4, ст. 83]:

$$d = \frac{S \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot x}{i - c_k \cdot t_k}, \quad (2.2)$$

де S-вага барди, кг;

c-теплоємність барди (визнаємо по графіку [4];

$t_2, t_1$ - початкова і кінцева температура барди, °С.

$x=1,05$ -коефіцієнт втрат теплоти;

i - ентальпія вторинної пари, Дж;

$c_k$  - теплоємність конденсату,

$t_k$  - температура конденсату, °С;

$(i - c_k \cdot t_k) \approx 2262,6 \times 10^5$  Дж/кг.

Розраховуємо витрати пари в підігрівачах:

$$d_1 = \frac{18105 \cdot 3955 \cdot (105 - 85) \cdot 1,05}{2262 \mp 600} = 665 \text{ кг/Г} = 0,185 \text{ кг/с}$$

(нагрівається вторинною парою другого корпусу);

$$d_2 = \frac{18105 \cdot 3955 \cdot (120 - 105) \cdot 1,05}{2262 \mp 600} = 498 \text{ кг/Г} = 0,138 \text{ кг/с}$$

(нагрівається вторинним паром першого корпусу);

$$d_3 = \frac{18105 \cdot 3955 \cdot (131 - 120) \cdot 1,05}{2262 \mp 600} = 366 \text{ кг/Г} = 0,102 \text{ кг/с.}$$

Кип'ятильник бражної колони нагрібається вторинним паром першого корпусу випарної станції. Витрата пари на кип'ятильник [4]:

$$d_k = \frac{П \cdot d_6}{24} = \frac{5000 \cdot 20}{24} = 4167 \text{ кг/Г} = 1,16 \text{ кг/с},$$

де  $d_6=20$ кг/дал спирту-витрата пари на бражну колону.

Кількість вторинної пари, відібраної з першого корпусу [4]

$$E_1 = d_2 + d_k = 498 + 4167 = 4665 \text{ кг/Г} = 1,30 \text{ кг/с} \quad (2.3)$$

з другого корпусу [к 1, ст. 84]:

$$E_2 = d_1 = 665 \text{ кг/Г} = 0,185 \text{ кг/с}. \quad (2.4)$$

Кількість випареної води по корпусам визначаємо з умови [4]

$$W_i = D_i \quad (2.5)$$

Загальна кількість випареної на установці води [к 1, ст. 84]:

$$W = S \left(1 - \frac{B_H}{B_K}\right) = 18105 \cdot \left(1 - \frac{8}{72}\right) = 16092 \text{ кг/Г} = 4,47 \text{ кг/с}, \quad (2.6)$$

де  $S=18104$  кг/Г-вага поступаючого на випарювання розчину (барди);

$B_H=8\%$ ,  $B_K=72\%$ - початкова і кінцева концентрації розчину (барди).

Кількість води, випареної в n-му корпусі [4]:

$$W_n = \frac{W - (n-1) \cdot E_{n-1} - (n-2) \cdot E_{n-2} - \dots - 2 \cdot E_2 - E_1}{n}; \quad (2.7)$$

-в 4-му корпусі

$$W_4 = \frac{16092 - 4665 - 2 \cdot 665}{4} = 2524 \text{ кг/Г} = 0,7 \text{ кг/с};$$

-в 3-му корпусі [4]

$$W_3=W_4=2524 \text{ кг/Г}=0,7 \text{ кг/с}; \quad (2.8)$$

-в 2-му корпусі [4]

$$W_2=W_3+E_2=2524+665=3189 \text{ кг/Г}=0,89 \text{ Гк/с}; \quad (2.9)$$

-в 1-му корпусі [4]

$$W_1=W_2+E_1=3189+4665=7854 \text{ кг/Г}=2,18 \text{ кг/с}; \quad (2.10)$$

$$\sum W=W_1+W_2+W_3+W_4=7854+3189+2524+2524=16091 \text{ кг/Г}=4,47 \text{ кг/с} \quad (2.11)$$

Визначаємо концентрацію мелясної барди після корпусів [5]:

$$B_k = \frac{S \cdot B_k}{S - \sum_1^n W} \quad (2.12)$$

де  $\sum_1^n W$  - кількість випареної води в n-му корпусі, кг/Г;

$$B_{k1} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854} = 14,1\% \text{ мас. - після 1-го корпусу};$$

$$B_{k2} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854 - 3189} = 20,5\% \text{ мас. — після 2-го корпусу};$$

$$B_{k3} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854 - 3189 - 2524} = 31,9\% \text{ мас. — після 3-го корпусу};$$

$$B_{k4} = \frac{18104 \cdot 8}{18104 - 7854 - 3189 - 2524 - 2524} = 72\% \text{ мас. - після 4-го корпусу.}$$

Визначимо температурну депресію, включаючи втрати температури внаслідок гідростатичного тиску[5]:

$$\Delta\phi=0,0079 \cdot B^{1,7} \quad (2.13)$$

де  $B$ —концентрація мелясної барди після відповідного корпусу, % мас.;

$$\Delta\phi_1=0,0079 \cdot 14,1^{1,7} =0,71 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta\phi_2=0,0079 \cdot 20,5^{1,7} =1,34 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta\phi_3=0,0079 \cdot 31,9^{1,7} =2,84 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta\phi_4=0,0079 \cdot 72^{1,7} =11,35 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Загальні температурні втрати [к.1,ст..84]:

$$\Sigma_4 \Delta\phi=\Delta\phi_1+\Delta\phi_2+\Delta\phi_3+\Delta\phi_4=0,71+1,34+2,84+11,35=16,24 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (2.14)$$

Температурні втрати між корпусом  $\Delta c$  приймаємо рівними  $1^\circ\text{C}$ .

Загальна корисна різниця температур всієї установки [4,с. 84]:

$$\Sigma\Delta t=t_{n1} -t'_{вт4} - \Sigma_4 \Delta\phi = 143 - 49 - (4 + 16,24) = 73,76^\circ\text{C} , \quad (2.15)$$

де  $t'_{вт4}=49 \text{ }^\circ\text{C}$  - температура вторинної пари, яка надходить в конденсатор при розрідженні  $0,98 \cdot 10^5 \text{ Па}$  (670 мм рт. ст.).

Розподіл корисної різниці температур по корпусам проводимо по «min»- ній загальній поверхні теплопередачі. Попередньо приймаємо співвідношення:

$$K_1/K_2=1,15; \quad K_1/K_3=4,4; \quad K_1/K_4=30.$$

В першому наближенні можна прийняти, що теплові навантаження пропорціональні кількості випареної води:

$$Q_i/Q_1=W_i/W_1 \text{ тоді } W_1/W_2/W_3/W_4=2,18/0,89/0,7/0,7=1/0,41/0,32/0,32.$$

Корисна різниця температур по корпусам [к1,ст..85]:

$$\Delta t_1 = \frac{\Sigma \Delta t}{1 + y_2 + y_3 + y_4} \quad (2.16)$$

$$\Delta t_2 = y_2 \cdot t_1; \quad \Delta t_3 = y_3 \cdot t_1; \quad \Delta t_4 = y_4 \cdot t_1; \quad (2.17-2.19)$$

де

$$y_2 = \sqrt{x_2}; \quad y_3 = \sqrt{x_3}; \quad y_4 = \sqrt{x_4}; \quad (2.20-2.22)$$

де

$$x_2 = K_1/K_2 \cdot 0,41; \quad x_3 = K_1/K_3 \cdot 0,32; \quad x_4 = K_1/K_4 \cdot 0,32;$$

тоді

$$x_2 = 1,15 \cdot 0,41 = 0,47; \quad x_3 = 4,4 \cdot 0,32 = 1,408; \quad x_4 = 30 \cdot 0,32 = 9,6;$$

тоді

$$y_2 = \sqrt{0,47} = 0,68; \quad y_3 = \sqrt{1,408} = 1,187; \quad y_4 = \sqrt{9,6} = 3,1;$$

тоді

$$\Delta t_1 = \frac{73,76}{1 + 0,69 + 1,187 + 3,1} = 12,36 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \Delta t_2 = 12,36 \cdot 0,68 = 8,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_3 = 12,36 \cdot 1,187 = 14,7 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \Delta t_4 = 12,36 \cdot 3,1 = 38,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Дані про температурний режим випарної установки зводимо в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Величина	Кор.1	Кор.2	Кор.3	Кор.4
Температура гріючої пари, °С	143	128,93	118,09	99,55
Корисна різниця температур, °С	12,36	8,5	14,7	38,3
Температура кипіння барди, °С	130,64	120,43	103,39	61,26
Фізико-хімічна температурна депресія, °С	0,71	1,34	2,84	11,35
Температура вторинної пари, °С	129,93	119,09	100,55	49,9
Втрати температури між корпусами, °С	1	1	1	1
Температура конденсату, °С	140	127	116	97
Ентальпія граючої пари кДж/кг	2738	2720	2705	2675

Коефіцієнт теплопередачі для першого корпусу визначаємо з рівняння адитивності термічних опорів [4]:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Sigma \delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.23)$$

де  $\alpha_1$ - коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючого пару до стінки труби, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Sigma \delta / \lambda$ —загальний термічний опір, м<sup>2</sup>·К/Вт;

$\alpha_2$ —коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до киплячого розчину, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Прийmemo, що загальний термічний опір дорівнює сумі термічного опору стінки  $\delta_{cm} / \lambda_{cm}$  та накипу  $\delta_n / \lambda_n$ . Термічний опір забруднення з боку пари не враховуємо.

Тоді отримуємо [5] :

$$\Sigma \delta / \lambda = \delta_{cm} / \lambda_{cm} + \delta_n / \lambda_n = \frac{0,0025}{17,5} + \frac{0,0005}{2} = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (2.24)$$

де  $\delta_{cm} = 0,0025$  м - товщина стінки трубки;

$\lambda_{cm} = 17,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) – коефіцієнт теплопровідності стінки труби [5, с.512];

$\delta_n = 0,0005$  м – товщина слою накипу (задаємось);

$\lambda_n = 2,0$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) – коефіцієнт теплопровідності накипу [5];

Коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючого пари до стінки [5]:

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(r_1 \cdot \rho_{ж1} \cdot \lambda_{ж1}) / (\mu_{ж1} \cdot H \cdot \Delta t_1)} \quad (2.25)$$

де  $r_1$  – теплота конденсації гріючої пари, кДж/кг;

$\rho_{ж1}$ ,  $\lambda_{ж1}$ ,  $\mu_{ж1}$  – відповідно густина (кг/м<sup>3</sup>), теплопровідність (Вт/(м·К)) та в'язкість (Па·с) конденсату при середній температурі плівки:  $t_{пл} = t_{г1} - \Delta t_1 / 2$ , де  $\Delta t_1$  – різниця температур конденсації пари та стінки труби (градуси).

Розрахунок  $\alpha_1$  проводимо методом послідовних навантажень. В першому наближенні прийmemo  $\Delta t_1 = 2,0$  град. Тоді

$r_1 = 2142,7$  кДж/кг при  $t_n = 143$  °С [к.3, ст.533],

$t_{пл} = 140 - 2/2 = 139$  °С, при якій  $\rho_{ж1} = 926$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda_{ж1} = 0,685$  Вт/(м·К),  $\mu_{ж1} = 196 \cdot 10^{-6}$  Па·с [5];

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(21427 \cdot 10^3 \cdot 926^2 \cdot 0,685^3) / (196 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 2)} = 8986,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Для процесу з постійним режимом передача тепла [к.8, ст.173]:

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \Delta t_{cp} / \Sigma \frac{\sigma}{\lambda} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2, \quad (2.26)$$

де  $q$  – відповідне теплове навантаження, Вт/м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{cp}$  – різниця температур на стінці труби, град.;

$\Delta t_2$  – різниця між температурою стінки з боку розчину і температурою кипіння, град. [4]:

Тоді

$$\Delta t_{cn} = \alpha_1 \cdot \Delta t \cdot \Sigma \frac{\sigma}{\lambda} = 8986,8 \cdot 2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.27)$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n1} - \Delta t_{cr} - \Delta t_1 = 12,36 - 7 - 2 = 3,36 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.28)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину для бульбашкового кипіння в вертикальних кип'ятильних трубках при умові циркуляції за рахунок різниці тисків в апараті [5]:

$$\alpha_2 = A \cdot q^{0,6} = 780 \cdot q^{0,6} \frac{\lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{n1}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_{e1}^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}} \quad (2.29)$$

де  $\lambda_1$  – теплопровідність розчину, Вт/(м·К);

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,62^{1,3} \cdot 965^{0,5} \cdot 1,62^{0,66}}{0,053^{0,5} \cdot (2165 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 39722^{0,3} \cdot (0,11 \cdot 10^{-4})^{0,3}} = \\ &= 33,7(\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 33,7(8986,8 \cdot 2)^{0,6} = 12034 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності навантажень:



$$\Delta t_{cr} = 8986,8 \cdot 2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 7,0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2 - 7,0 = 3,36 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8986,8 \cdot 2 = 17937,6 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 12034 \cdot 3,36 = 24068 \text{ Вт/м}^2;$$

-розбіжність між значеннями більше 3 % (34 %).

Для другого наближення приймемо  $\Delta t_1 = 2,66 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Знехтувавши зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на  $0,66 \text{ } ^\circ\text{C}$  розраховуємо  $\alpha_1$  по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1}} = 8986,8 \cdot \sqrt{\frac{2}{2,66}} = 7793 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

Тоді

$$\Delta t_{cr} = 7793 \cdot 2,66 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 8,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2,66 - 8,1 = 1,6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 = 33,7 \cdot (7793 \cdot 2,66)^{0,6} = 13109 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$q' = 7793 \cdot 2,66 = 20729 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 13104 \cdot 1,6 = 20974 \text{ Вт/м}^2.$$

Розбіжність між значеннями менше 3% (1.1%). Розрахунок коефіцієнта  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  на цьому закінчуємо. Визначаємо  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{7793} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{13109}} = 1681,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\rho_{p2} = \frac{1}{\frac{0,205}{1200} + \frac{1-0,205}{943}} = 986,3 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

3-й корпус ( $x_{m3}=0,319$ ;  $\rho_{ж}=958 \text{ кг}/\text{м}^3$  при  $t=103,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\rho_{p3} = \frac{1}{\frac{0,319}{1200} + \frac{1-0,319}{958}} = 1023,9 \text{ кг}/\text{м}^3$$

4-й корпус ( $x_{m4}=0,72$ ;  $\rho_{ж}=983 \text{ кг}/\text{м}^3$  при  $t=61,26 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\rho_{p4} = \frac{1}{\frac{0,72}{1200} + \frac{1-0,72}{983}} = 1130,1 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

В'язкість розчину [к.3,ф19]:

$$\mu = \mu_{ж} \cdot (1 + 4,5 \cdot \varphi), \quad (2.30)$$

де  $\mu_{ж}$ - в'язкість зовнішнього середовища (вода) в якому знаходяться тверді частки, Па·с;

$\varphi$  - об'ємна концентрація твердих часток в розчині [5]

$$\varphi = \frac{x_m \cdot \rho_p}{\rho_m} \quad (2.31)$$

1-й корпус ( $\mu_{ж}=212 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  при  $t=130,64 \text{ }^\circ\text{C}$ );

$$\varphi_1 = \frac{x_{m1} \cdot \rho_{p1}}{\rho_m} = \frac{0,141 \cdot 965}{1200} = 0,11;$$

Тоді

$$\mu_1 = 212 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,11) = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

2-й корпус ( $\mu_{ж} = 213 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  при  $t = 120,43 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\varphi_2 = \frac{x_{m2} \cdot \rho_{p2}}{\rho_m} = \frac{0,205 \cdot 968,3}{1200} = 0,17;$$

Тоді

$$\mu_2 = 231 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,17) = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

3-й корпус ( $\mu_{ж} = 280 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  при  $t = 103,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\varphi_3 = \frac{x_{m3} \cdot \rho_{p3}}{\rho_m} = \frac{0,319 \cdot 1023,9}{1200} = 0,27;$$

Тоді

$$\mu_3 = 280 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,27) = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

4-й корпус ( $\mu_{ж} = 470 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  при  $t = 62,26 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\varphi_4 = \frac{x_{m4} \cdot \rho_{p4}}{\rho_m} = \frac{0,72 \cdot 1130,1}{1200} = 0,68$$

Тоді

$$\mu_4 = 470 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,68) = 19,1 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Теплопровідність розчину [к.3, ф.28]:

$$\lambda = \lambda_g \cdot \frac{\omega}{100} + \lambda_{c.g.} \cdot \frac{100 - \omega}{100}, \quad (2.32)$$

де  $\omega = 1 - B_k$  – вміст води в розчині, % мас.;

$B_k$  – концентрація сухих речовин в розчині, % мас.;

$$\omega_1 = 100 - B_{k1} = 100 - 14,4 = 85,9 \text{ \% мас.};$$

$$\omega_2 = 100 - B_{k2} = 100 - 20,5 = 79,5 \text{ \% мас.};$$

$$\omega_3 = 100 - B_{k3} = 100 - 31,9 = 68,1 \text{ \% мас.};$$

$$\omega_4 = 100 - B_{k4} = 100 - 72 = 28,0 \text{ \% мас.};$$

$\lambda_b$  – теплопровідність рідини (води), Вт/(м·К) [к.2, ст..520]:

$$\lambda_{b1} = 68,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \text{ при } t = 130,64 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{b2} = 68,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \text{ при } t = 120,43 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{b3} = 68,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \text{ при } t = 103,39 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{b4} = 65,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \text{ при } t = 61,26 \text{ }^\circ\text{C};$$

$\lambda_{c.b.} = 0,23 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  – теплопровідність сухих речовин розчину;

тоді

$$\lambda_1 = 68,6 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{85,9}{100} + 0,23 \cdot \frac{100 - 85,9}{100} = 0,62 \text{ Вт/(м·К)};$$

$$\lambda_2 = 68,6 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{79,5}{100} + 0,23 \cdot \frac{100 - 79,5}{100} = 0,59 \text{ Вт/(м·К)}$$

$$\lambda_3 = 68,4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{68,1}{100} + 0,23 \cdot \frac{100 - 68,1}{100} = 0,54 \text{ Вт/(м·К)};$$

$$\lambda_4 = 65,9 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{28}{100} + 0,23 \cdot \frac{100 - 28}{100} = 0,35 \text{ Вт/(м·К)}.$$

Отримані дані зводимо в табл. 2.2

Таблиця 2.2

Величина	Кор. 1	Кор. 2	Кор. 3	Кор. 4
Теплопровідність розчину $\lambda$ , Вт/(м·К)	0,62	10,59	10,54	0,35
Густина розчину $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	965	986,3	1023,9	1130,1
Теплоємність розчину $c$ , Дж/(кг·К)	3972,2	3613	3293,8	2162
В'язкість розчину $\mu$ , Па·с	$0,11 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$16,1 \cdot 10^{-4}$
Поверхнєве напруження $\sigma$ , Н/м [к.2, ст.509]	0,053	0,056	0,058	0,066
Теплота пароутворення $r_v$ , Дж/кг	$2165 \cdot 10^3$	$2190 \cdot 10^3$	$2245 \cdot 10^3$	$2350 \cdot 10^3$
Густина пари $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup> (1, с.350,к.3)	1,62	1,11	0,69	0,13

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,62^{1,3} \cdot 965^{0,5} \cdot 1,62^{0,06}}{0,053^{0,5} \cdot (2165 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3972,2^{0,3} \cdot (0,11 \cdot 10^{-4})^{0,3}} =$$

$$= 33,7 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 33,7 \cdot (8986,8 \cdot 2)^{0,6} = 12034 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$\Delta t_{\text{ст}} = 8986,8 \cdot 2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 7,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2 - 7,0 = 3,36 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8986,8 \cdot 2 = 17937,6 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 12034 \cdot 3,36 = 24068 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

- розбіжність між значеннями більше 3% (34%).

Для другого наближення приймемо  $\Delta t_1 = 2,66 \text{ }^\circ\text{C}$ . Знехтувавши зміною фізичних властивостей при зміні температури на  $0,66 \text{ }^\circ\text{C}$  розраховуємо  $\alpha_1$  по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1}} = 8986,8 \cdot \sqrt{\frac{2}{2,66}} = 7793 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = 7793 \cdot 2,66 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 8,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 12,36 - 2,66 - 8,1 = 1,6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 = 33,7 \cdot (7793 \cdot 2,66)^{0,6} = 13109 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q' = 7793 \cdot 2,66 = 20729 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q''=13109 \cdot 1,6=20974 \text{ Вт/м}^2.$$

Розбіжність між значеннями менше 3%(1,1%). Розрахунок коефіцієнта  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  на цьому закінчуємо. Визначаємо  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{7793} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{13109}} = 1681,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Далі визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 2-го корпусу  $K_2$ .

Розрахунок  $\alpha_1$  проводимо методом послідовних наближень. В першому наближенні прийmemo  $\Delta t_1=1,3$  град.

Тоді

$$r_1=2238 \text{ кДж/кг при } t_n=128,93 \text{ }^\circ\text{C [к.3, ст.533];}$$

$$t_{\text{пл.}}=127-1,3/2=126,35 \text{ }^\circ\text{C, при якій } \rho_{\text{ж1}}=937 \text{ кг/м}^3, \lambda_{\text{ж1}}=0,686 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

$$\mu_{\text{ж1}}=222 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с [с.520];}$$

$$\alpha_1=2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2238 \cdot 10^3 \cdot 937^2 \cdot 0,686^3}{222 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 1,3}} = 9877 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

$$\Delta t_{\text{ст.}}=9877 \cdot 1,3 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 5,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2=8,5-1,3-5,0=2,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2=780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,59^{1,3} \cdot 986,3^{0,5} \cdot 1,1^{0,66}}{0,056^{0,5} (2190 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3613^{0,3} \cdot (4,1 \cdot 10^{-4})^{0,3}} =$$

$$=10,49 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 10,49 (9877 \cdot 1,3)^{0,6} = 3061,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 9877 \cdot 1,3 = 12840 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 3061,4 \cdot 2,2 = 6735 \text{ Вт/м}^2;$$

- розбіжність між значеннями більше 3 % (48 %).

Для другого наближення приймемо  $\Delta t_1 = 0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Знехтувавши зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  розраховуємо  $\alpha_1$  по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1}} = 9877 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{0,8}} = 12591 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = 12591 \cdot 0,8 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 3,9 ;$$

$$\Delta t_2 = 8,5 - 0,8 - 3,9 = 3,8 \text{ }^\circ\text{C} ;$$

$$\alpha_2 = 10,49 \cdot (12591 \cdot 0,8)^{0,6} = 2646 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$q' = 12591 \cdot 0,8 = 10073 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 2646 \cdot 3,8 = 10055 \text{ Вт/м}^2.$$

Розбіжність між значеннями менше 3% (0,2%). Розрахунок коефіцієнта  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  на цьому закінчуємо. Визначаємо  $K_2$ :

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{12591} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2646}} = 1180 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$



Далі визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 3-го корпусу  $K_3$ .

Розрахунок  $\alpha_1$  проводимо методом послідовних наближень. В першому наближенні прийmemo  $\Delta t_1=1$  град. Тоді

$$r_1=2210 \text{ кДж/кг при } t_n=118,19 \text{ }^\circ\text{C} \quad [5];$$

$t_{пл.}=116-1/2=115,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , при якій  $\rho_{ж1}=947 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_{ж1}=0,6855 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $\mu_{ж1}=243 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$  [3,с.520 ]

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{(2210 \cdot 10^3 \cdot 947^2 \cdot 0,6855^3)/(242 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 1)} = 10327,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

$$\Delta t_{ст}=10327,4 \cdot 1 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 4,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2=14,7-1-4,0=9,7 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,54^{1,3} \cdot 10239^{0,5} \cdot 0,69^{0,06}}{0,058^{0,5} \cdot (2245 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 32938^{0,3} \cdot (6,2 \cdot 10^{-4})^{0,3}} = \\ &= 8,1 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 8,1 \cdot (10327,4 \cdot 1)^{0,6} = 2074,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 10327,4 \cdot 1 = 10327,4 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 2074,3 \cdot 9,7 = 20121 \text{ Вт/м}^2;$$

-розбіжність між значеннями більше 3% (95%).

Для другого наближення приймаємо  $\Delta t_1=2,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Знехтувавши зміною фізичних властивості конденсату при зміні температури на  $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$  розраховуємо  $\alpha_1$  по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1}} = 10327,4 \cdot \sqrt{\frac{1}{2,45}} = 6598 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ст}} = 6598 \cdot 2,45 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 6,3 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$\Delta t_2 = 14,7 - 2,45 - 6,3 = 5,95 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$\alpha_2 = 8,1 \cdot (6598 \cdot 2,45)^{0,6} = 2714 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q' = 6598 \cdot 2,45 = 16165 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = 2714 \cdot 5,95 = 16148 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

Розбіжність між значеннями менше 3% (0,1%). Розрахунок коефіцієнта  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  на цьому закінчуємо. Визначаємо  $K_3$  :

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{6598} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2714}} = 1099 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 4-го корпусу  $K_4$ . Розрахунок  $\alpha_1$  проводимо методом послідовних наближень. В першому наближенні приймемо  $\Delta t_1 = 8 \text{ }^\circ\text{С}$ . Тоді

$\tau_1 = 2264 \text{ кДж}/\text{кг}$  при  $t_{\text{п}} = 99,55 \text{ }^\circ\text{С}$  [3,533];  $t_{\text{пл}} = 97 - 1/8 = 89 \text{ }^\circ\text{С}$ , при якій  $\rho_{\text{ж1}} = 965 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $\lambda_{\text{ж1}} = 0,675 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $\mu_{\text{ж1}} = 355 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  [2,533];

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2264 \cdot 10^3 \cdot 965^2 \cdot 0,675^3}{355 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 8}} = 5607,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\Delta t_{cr} = 5607,2 \cdot 8 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 17,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 38,3 - 8 - 17,5 = 12,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,35^{1,3} \cdot 1130,1^{0,5} \cdot 0,13^{0,66}}{0,066^{0,5} \cdot (2350 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 2162^{0,3} \cdot (19,1 \cdot 10^{-4})^{0,3}} =$$

$$= 3,3 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 3,3 \cdot (5607,2 \cdot 8)^{0,6} = 2040 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевіримо правильність першого наближення по відповідності теплових навантажень:

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 5607,2 \cdot 8 = 44858 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 2040 \cdot 12,8 = 26112 \text{ Вт/м}^2;$$

- розбіжність між значеннями більше 3% (42%).

Для другого наближення приймемо  $\Delta t_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Знехтувавши зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  розраховуємо  $\alpha_1$  по співвідношенню:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_1'}{\Delta t_1}} = 5607,2 \cdot \sqrt{\frac{8}{5}} = 7093 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)};$$

Тоді

$$\Delta t_{cr} = 7093 \cdot 5 \cdot 3,9 \cdot 10^{-4} = 13,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_1 = 38,3 - 5 - 13,8 = 19,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 = 3,3 \cdot (7093 \cdot 5)^{0,6} = 1772 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$q' = 7093 \cdot 5 = 35465 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = 1772 \cdot 19,5 = 34554 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

Розбіжність між значеннями менше 3% (2,6%). Розрахунок коефіцієнта  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  на цьому закінчуємо. Визначаємо  $K_4$ :

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{7093} + 3,9 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{1772}} = 1410 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Теплові навантаження на відповідний корпус:

$$q_1 = \frac{q'_1 + q''_1}{2} = \frac{20729 + 20974}{2} = 20851,5 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q_2 = \frac{q'_2 + q''_2}{2} = \frac{10073 + 10055}{2} = 10064 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q_3 = \frac{q'_3 + q''_3}{2} = \frac{16165 + 16148}{2} = 16156,5 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q_4 = \frac{q'_4 + q''_4}{2} = \frac{35465 + 34554}{2} = 20851,5 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Кількість теплоти що передається відповідно по корпусам [4]:

$$Q = W \cdot (i - t_K \cdot 4,19),$$

де  $W$ - кількість випареної води в корпусі, кг/с;

$i$  – ентальпія граючої пари, Дж/кг [5, с .530] :

$$i_1=2738 \text{ кДж при } t =143^\circ\text{C};$$

$$i_2=2720 \text{ кДж при } t =128,93^\circ\text{C};$$

$$i_3=2705 \text{ кДж при } t =118,09^\circ\text{C};$$

$$i_4=2675 \text{ кДж при } t =99,55^\circ\text{C};$$

$t_k$  –температура конденсату, °C;

тоді

$$Q_1=2,18 \cdot (2738-140 \cdot 4,19)=4690 \text{ Дж/кг};$$

$$Q_2=0,89 \cdot (2720-127 \cdot 4,19)=2311 \text{ Дж/кг};$$

$$Q_3=0,7 \cdot (2705-116 \cdot 4,19)=1553 \text{ Дж/кг};$$

$$Q_4=0,7 \cdot (2675-97 \cdot 4,19)=1588 \text{ Дж/кг}.$$

Поверхня нагріву кожного корпусу [1,53]:

$$F_1 = \frac{4690 \cdot 10^3}{16818 \cdot 12,36} = 225,6 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{2311 \cdot 10^3}{1180 \cdot 8,5} = 230,4 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = \frac{1553 \cdot 10^3}{1099 \cdot 14,7} = 96 \text{ м}^2;$$

$$F_4 = \frac{1588 \cdot 10^3}{1410 \cdot 38,9} = 29,4 \text{ м}^2;$$

Конструктивний розрахунок проводимо для випарного апарата з найбільшою поверхнею нагрівання  $230,4\text{ м}^2$  по [4].

Зважаючи, що кожний випарний апарат має два кип'ятильника, то:

$$n_d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 115,2}{3 \cdot \frac{3}{1} \cdot 0,074 \cdot 0,179}} = 15,6 \text{ шт.}$$

Приймаємо  $n_d = 16$  шт,

Тоді

$$n = 0,75 \cdot (16^2 - 1) + 1 = 192 \text{ шт.}$$

Діаметр трубної ґратки або внутрішній діаметр кожуха теплообмінника (кип'ятильника) [4]:

$$D = (n_d - 1) \cdot t + 4 \cdot d_n = (16 - 1) \cdot 0,074 + 4 \cdot 0,057 = 1,34 \text{ м,} \quad (2.33)$$

Приймаємо  $D = 1600$  мм.

Робоча довжина ( $l$ ) однієї труби кип'ятильника

$$l = \beta \cdot D = \frac{3}{1} \cdot 1,34 = 4,0 \text{ м,} \quad (2.34)$$

Приймаємо довжину труб  $4,0$  м.

Повна висота теплообмінника ( $H$ ), м [к. 3., ф. 162]:

$$H = l + 2 \cdot \delta + h_1 + h_2, \quad (2.35)$$

де  $\delta$  - товщина трубної ґратки, м (для сталевих труб  $\delta = 0,125 \cdot d_n + 5\text{ мм}$ ):

$$\delta = 0,125 \cdot 57 + 5\text{ мм} = 12 \text{ мм;}$$

$h_2=0,1 \dots 0,3$  - висота нижньої камери, приймаємо  $h=0,3$  м;

$h_1$  - висота верхньої (парової) камери, приймаємо  $h_1 =0,4$ м;

тоді

$$H=4+2 \cdot 0,012+0,4+0,3=4,724 \text{ м.}$$

Визначаємо об'єм сепараційного простору для вторинної пари [к. 1, ф. V.97]:

$$V_n = \frac{W}{\rho \cdot A}, \quad (2.36)$$

де  $W=1,05$  кг/с - кількість випареної води;

$\rho=1,12$  кг/м - густина вторинної пари при  $t=119,9$  °С [к. 2, ст. 533];

$A=0,388$  м<sup>3</sup> / (м<sup>3</sup> · с) - напруга парового простору;

Тоді

$$V_n = \frac{1,05}{1,12 \cdot 0,388} = 2,4 \text{ м}^3,$$

Приймаємо об'єм апарата із номінального ряду [4,]  $V_n=2,5$  м<sup>3</sup> .

Визначаємо висоту сепараційного простору ( $H_n$ ), м [4,]:

$$H_n = \frac{4 \cdot V_n}{\pi \cdot D^2}, \quad (2.37)$$

де  $D$  - діаметр парового простору, м (в зв'язку з тангенціальним розташуванням патрубків для входу бардьяної суміші конструктивно приймаємо  $D=1,6$  м):

$$H_n = \frac{4 \cdot 2,5}{\pi \cdot 1,6^2} = 1,24 \text{ м,}$$

Згідно рекомендацій висоту сепараційного простору (при випарюванні піно твірних рідин) приймаємо  $H_p=3$  м.

Визначаємо діаметри патрубків [4]:

$$d=1,13 \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot \omega}}, \quad (2.38)$$

де  $G$  - кількість речовини, що проходить через патрубок, кг/с;

$\rho$  - густина речовини, що проходить через патрубок, кг/м<sup>3</sup> ;

$\omega$  - швидкість речовини, що проходить через патрубок, м/с.

Діаметр патрубка для подачі пари в кип'ятильник ( $d_1$ ), м ( $G_1 = W_1 / 2 = 2,6 / 2 = 1,3$  кг/с;  $\rho = 1,49$  кг/м<sup>3</sup> при  $t = 129,9^\circ\text{C}$ ;  $\omega = 20$  м/с

$$d_1 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_1}{\rho_1 \cdot \omega_1}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{1,49 \cdot 20}} = 0,236 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду  $d_1 = 250$  мм.

Діаметр патрубка для виходу бард'яної суміші з кип'ятильника (входу в сепаратор)( $d_2$ ),

$$(G_{p2} = \frac{S - W_1 - W_2}{2} = \frac{10 - 4,3 - 1,74}{2} = 1,98 \text{ кг/с;}$$

$$\rho_{p2} = \frac{1}{\frac{x_m}{\rho_m} + \frac{1 - x_m}{\rho_{ж}}} = \frac{1}{\frac{0,228}{1200} + \frac{1 - 0,228}{944}} = 992 \text{ кг/м}^3$$

( $\rho = 1200$  кг/м<sup>3</sup> - густина твердих частинок;  $x_{m2} = 0,228$  (22,8 %);  $\rho_{ж} = 944$  кг/м<sup>3</sup>

при  $t = 121,5$  °C)) - витрата та густина рідини в суміші;  $G_{n2} = \frac{W_2}{2} = \frac{1,05}{2} = 0,53$  кг/с;

$\rho_{n2} = 1,12$  кг/м<sup>3</sup> - витрата та густина вторинної пари в суміші



(при  $t_1=119,9\text{ }^\circ\text{C}$ );  $\omega_2=10\text{ м/с}$

$$d_2=1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_2}{\rho_2 \cdot \omega_2}} = 1,13 \cdot \sqrt{\left(\frac{G_{n2}}{\rho_{n2}} + \frac{G_{p2}}{\rho_{p2}}\right) / 10} = 1,13 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,53}{1,12} + \frac{1,18}{992}\right) / 10} = 0,246\text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду  $d_2=250\text{ мм}$ .

Діаметр патрубку для відводу конденсату з кип'ятильника ( $d_3$ ), м ( $G_3=2,6/2=1,3\text{ кг/с}$ ;  $\rho_3=937\text{ кг/м}^3$  при  $t=127\text{ }^\circ\text{C}$  - кількість та густина конденсату;  $\omega=0,2\text{ м/с}$ ):

$$d_3=1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_3}{\rho_3 \cdot \omega_3}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{937 \cdot 0,2}} = 0,094\text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду  $d_3=100\text{ мм}$ .

Діаметр патрубку для входу барди в кип'ятильник ( $d_4$ ), м

$$(G_4 = \frac{S - W_1}{2} = \frac{6 - 2,6}{2} = 1,7\text{ кг/с;}$$

$$\rho_4 = \rho_{p1} = \frac{1}{\frac{x_m}{\rho_m} + \frac{1 - x_m}{\rho_{ж}}} = \frac{1}{\frac{0,158}{1200} + \frac{1 - 0,158}{933}} = 997\text{ кг/м}^3$$

( $\rho_T=1200\text{ кг/м}^3$  - густина твердих частинок;  $x_T=0,158$  (15,8 %);  $\rho_{ж}=933\text{ кг/м}^3$  при  $t=131,8\text{ }^\circ\text{C}$  - витрата та густина розчину;  $\omega=0,3\text{ м/с}$  (ст. 169, к.3)):

$$d_4=1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_4}{\rho_4 \cdot \omega_4}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,7}{997 \cdot 0,3}} = 0,066\text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду  $d_4=70\text{ мм}$ .

Діаметр патрубкa для виходу вторинної пари з сепаратора ( $d_5$ ), м ( $G_5 = W_2 = 1,05$  кг/с;  $\rho_5 = 1,12$  кг/м<sup>3</sup> при  $t = 119,9^\circ\text{C}$

- кількість та густина вторинної пари;  $\omega_5 = 18$  м/с (ст. 59, к. 1));

-

$$d_5 = 1,13 \sqrt{\frac{G_5}{\rho_5 \cdot \omega_5}} = 1,13 \sqrt{\frac{1,05}{1,12 \cdot 18}} = 0,27 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду  $d_3 = 300$  мм.

Діаметр патрубкa для виходу упареної барди з сепаратора ( $d_6$ ), м ( $G_6 = S - W_1 - W_2 = 6 - 2,6 - 1,05 = 2,35$  кг/с;  $\rho_6 = \rho_{p2} = 992$  кг/м<sup>3</sup> - вирата та густина розчину;  $\omega_6 = 0,5$  м/с (ст. 169, к. 3)):

$$d_6 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G}{\rho_6 \cdot \omega_6}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2,35}{992 \cdot 0,5}} = 0,086 \text{ м,}$$

Приймаємо із стандартного ряду  $d_6 = 100$  мм.

Діаметр патрубкa для входу циркуляційного розчину з сепаратора ( $d_7$ ), м (переріз циркуляційної труби становить 20% від загальної площі всіх трубок в кип'ятильнику); враховуючи наявність двох кип'ятильників:

$$d_7 = d_{в.т} \cdot \sqrt{\frac{n}{5 \cdot 2}} = 0,052 \cdot \sqrt{\frac{192}{5 \cdot 2}} = 0,227 \text{ м,}$$

де  $d_{в.т} = 0,052$  м- внутрішній діаметр кип'ятильних трубок;

$n = 192$  шт - кількість трубок в кип'ятильнику.

Приймаємо  $d_7 = 250$  мм.

## 2.5 Гідрравлічний опір апарата

Розраховуємо по[10]

Оптимальний рівень киплячої рідини (для оптимальних умов тепловіддачі)  
[10]:

$$h_0 = (0,26 + 0,0014 \cdot (\rho_p - \rho_v)) \cdot H_{\text{тр}} = (0,26 + 0,0014 \cdot (992 - 943)) \cdot 4 = 1,31 \text{ м}, \quad (2.39)$$

де  $\rho_p = \rho_{p2} = 992 \text{ кг/м}^3$  - кінцева густина розчину барди (ст. 35);

$\rho_v = 942 \text{ кг/м}^3$  - густина води при  $t = 121,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (таб. XXXIX, ст. 520, к. 2);

$H_{\text{тр}} = 4 \text{ м}$  - висота труб в кип'ятильнику.

Швидкість циркуляції розчину в трубках  $\omega_{\text{ц}} = 0,3 \text{ м/с}$

Втрата тиску в трубному просторі [10]:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.о}} = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\omega_{\text{ц}}^2 \cdot \rho_{\text{б}}}{2}, \quad (2.40)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору тертя в трубному просторі, який визначається відносно значення критерію Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\text{ц}} \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{б}}}{\mu_{\text{б}}} = \frac{0,2 \cdot 0,052 \cdot 992}{4,2 \cdot 10^{-4}} = 24564$$

де  $\rho_{\text{б}} = 992 \text{ кг/м}^3$ , - густина розчину барди при  $t = 121,5^\circ\text{C}$ ;

$d_{\text{вн}} = 0,052 \text{ м}$  - внутрішній діаметр трубок кип'ятильника.

$\mu_{\text{б}}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості розчину барди:

$$\mu_{\text{б}} = \mu_{\text{ж}} \cdot (1 + 4,5 \cdot \varphi), \quad (2.41)$$

де  $\mu_{ж}$  - в'язкість зовнішнього середовища (води) в якому знаходяться тверді частки, Па·с;

$\varphi$  - об'ємна концентрація твердих часток в розчині:

( $\mu_{ж}=229 \cdot 10^{-6}$  Па·с при  $t=121,5^{\circ}\text{C}$ ):

$$\varphi_2 = \frac{x_{m2} \cdot \rho_{p2}}{\rho_m} = \frac{0,228 \cdot 992}{1200} = 0,19; \quad (2.42)$$

тоді

$$\mu_2 = 229 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,19) = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

тоді [к., ф. IV.82]:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg \text{Re} - 1,5)^2} = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg 24564 - 1,5^2)} = 0,024; \quad (2.43)$$

$$l = H \cdot n = 4 \cdot 192 = 768 \text{ м},$$

де  $H=4$  м - висота кип'ятільних труб;

$n=192$  шт - кількість кип'ятільних труб в одному кип'ятільнику;

$d=d_{\text{вн}}=0,052$  м;

$\Sigma \xi = (1 + 1,5) \cdot 271 = 677,5$  - сума коефіцієнта місцевих опорів (1,5 - коефіцієнт місцевого опору при вході в камеру (виході з камери);

1 - коефіцієнт місцевого опору при вході в труби (виході з труби) [10]

тоді

$$\Delta p_1 = (0,024 \cdot \frac{768}{0,052} + 677,5) \frac{0,3^2 \cdot 992}{2} = 46067 \text{ Па}.$$

Втрата тиску в міжтрубному просторі по формулі, яка прийме вигляд ( $\Delta p_{\text{тр}}=0$ ):

$$\Delta p_2 = \Delta p_{m.o} = \Delta p_{вх} + \Delta p_{вих} = \sum \xi_{вх} \cdot \frac{\omega_{вх}^2 \cdot \rho_n}{2} + \sum \xi_{вих} \cdot \frac{\omega_{вих}^2 \cdot \rho_k}{2}, \quad (2.44)$$

де  $\sum \xi_{вх} = 1,5 + 1 = 2,5$  - сума коефіцієнтів місцевих опорів при вході пари в міжтрубний простір та повороті в міжтрубному просторі на  $90^\circ$  (к. 1, ст. 51);

$\sum \xi_{вих} = 1,5 + 1 = 2,5$  - сума коефіцієнта місцевих опорів при виході конденсату з міжтрубного простору та повороті в міжтрубному просторі на  $90^\circ$  ;

$\omega_{вх}$  - швидкість та густина пару який поступає в міжтрубний простір ( $\omega_{вх} = 20$  м/с,  $\rho_n = 1,49$  кг/м<sup>3</sup>);

$\omega_{вих}$  - швидкість та густина конденсату, який виходить з міжтрубного простору ( $\omega_{вих} = 0,2$  м/с,  $\rho_n = 397$  кг/м<sup>3</sup>);

Тоді

$$\Delta p_2 = 2,5 \cdot \frac{20^2 \cdot 1,49}{2} + 2,5 \cdot \frac{0,2^2 \cdot 397}{2} = 750 \text{ Па.}$$

## 2.6 Вибір допоміжного обладнання

Температуру барометричної води приймемо на  $3^\circ\text{C}$  нижчу від температури насиченої пари, яка входить в конденсатор

$$t_n = 50,1 - 1 = 49,1^\circ\text{C} \text{ (таб. 2.1) [5]:}$$

$$t_{в.к} = t_n - 3 = 49,1 - 3 = 46,1^\circ\text{C}. \quad (2.45)$$

Витрата води на охолодження [к. 3, ф. 230]:

$$W = \frac{D \cdot (i - c_g \cdot t_{г.к})}{c_g \cdot (t_{г.к} - t_{г.н})} = \frac{1,4 \cdot (2588 \cdot 10^3 - 4180 \cdot 46,1)}{4180 \cdot (46,1 - 20)} = 30,7 \text{ кг/с}, \quad (2.46)$$

де  $D = W = 1,4$  кг/с - кількість конденсуючої пари;

$i=2588$  кДж/кг - ентальпія пари (при  $t=49,1$  °С);

$t_{в.к}=46,1$ °С,  $t_{в.н}=20$ °С - кінцева та початкова (приймаємо) температури води (конденсату);

$c_{в}=4,18$  кДж/(кг·К) - теплоємність барометричної води (при  $t=46,1$ °С).

Кількість відсмоктаного повітря [5]:

$$G_B=0,001 \cdot (0,025 \cdot W + 10 \cdot D) = 0,001 \cdot (0,025 \cdot 30,7 + 10 \cdot 1,4) = 0,015 \text{ кг/с.} \quad (2.47)$$

Температура повітря [5]:

$$t_B = t_{в.н} + 0,1 \cdot (t_{в.к} - t_{в.н}) + 4 = 20 + 0,1 \cdot (46,1 - 20) + 4 = 26,2 \text{ °С.} \quad (2.48)$$

Загальний абсолютний тиск в конденсаторі при  $t_H=49,1$  °С:  $p=12$  кПа (10, таб. LVI).

Парціальний тиск водяної пари  $t_B=26,2$  °С:  $p_n=3,4$  кПа (10, таб. LVI), а парціальний тиск повітря  $p_v=p-p_n=12-3,4=8,6$  кПа.

Об'єм відсмоктуючого повітря [к. 3, ф. 244]:

$$V_B = \frac{288 \cdot G_B \cdot (273 + t_B)}{P_B} = \frac{288 \cdot 0,015 \cdot (273 + 26,2)}{8,6 \cdot 10^3} = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.49)$$

де 288 - газова постійна для повітря, Дж/(кг·К).

Відповідно отриманому об'єму повітря  $V_B=0,15$  м<sup>3</sup>/с та необхідному розрідженні  $0,89 \cdot 10^5$  Па вибираємо вакуум-насос марки РМК-4 (стабільне розрідження 670 мм рт. ст.; діаметр робочого колеса 650 мм; кількість лопаток -22; внутрішній діаметр корпусу 760 мм; ексцентриситет – 40 мм; частота обертання робочого колеса 730 об/хв.

Масова витрата пари в конденсаторі:  $D=1,4$  кг/с = 5,04 т/год

Приймаємо типовий конденсатор РЗ-ПКО-12 (номінальне навантаження по пару -12 т/год; габаритні розміри: довжина - 3150 мм, ширина – 2450 мм; висота – 6670 мм; внутрішній діаметр корпусу – 1500 мм; вага – 3360 кг).

Визначаємо об'єм збірника для барометричної води при тривалості перебування її в збірнику  $\tau=5$  хв. і коефіцієнт заповнення  $\varphi=0,8$ :

$$V_1 = \frac{(W + D) \cdot \tau}{\rho_{\text{вод}} \cdot \varphi} = \frac{(30,7 + 1,4) \cdot 5 \cdot 60}{1000 \cdot 0,8} = 12 \text{ м}^3. \quad (2.50)$$

Приймаємо вертикальний циліндричний збірник діаметром  $D_1=2$  м, тоді його висота:

$$H_1 = \frac{4 \cdot V_1}{3,14 \cdot D_1^2} = \frac{4 \cdot 12}{3,14 \cdot 2^2} = 3,82 \text{ м}. \quad (2.51)$$

Продуктивність насоса для відкачування води із збірника

$$\Pi = \frac{(W + D) \cdot 3600}{\rho_{\text{вод}}} = \frac{(30,7 + 1,4) \cdot 3600}{1000} = 115,6 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.52)$$

Приймаємо до встановлення насос типу 6X18 (діаметр робочого колеса – 180 мм; продуктивність – 118 м<sup>3</sup> /год.; напір (Н) - 34 м; висота всмоктування – 5 м ст. рідини; КПД насоса - 65 %; частота обертання вала - 2900 об/хв.; N=30 кВт; вага – 171 кг).

Теплове навантаження на підігрівачі барди [4]:

$$Q = G_6 \cdot c_6 \cdot (t_2 - t_1) \cdot x, \quad (2.53)$$

де  $G_6$  - витрата барди ( $G_6 = 10$  кг/с);

$c_6$  - теплоємність барди, Дж/(кг·К) [3]:

$$c_6 = 4187 - 28 \cdot B = 4187 - 28 \cdot 9 = 3935 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; \quad (2.54)$$

де  $B=9$  % мас. - вміст сухих речовин;

$x=1,05$  - коефіцієнт, враховуючий втрати тепла теплообмінником в навколишнє середовище;

- підігрівачі першої групи ( $t_1 = 85$  °C,  $t_2 = 105$  °C):

$$Q_1 = 10 \cdot 3935 \cdot (105 - 85) \cdot 1,05 = 826350 \text{ Вт};$$

- підігрівачі другої групи ( $t_1 = 105$  °C,  $t_2 = 120$  °C):

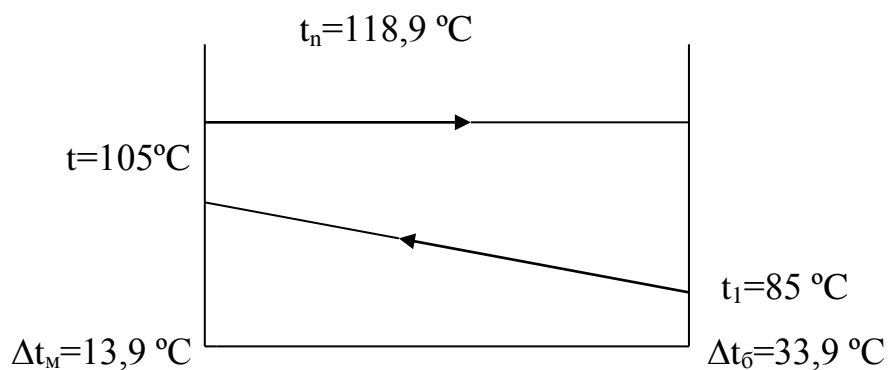
$$Q_2 = 10 \cdot 3935 \cdot (120 - 105) \cdot 1,05 = 619763 \text{ Вт};$$

- підігрівачі третьої групи ( $t_1 = 120$  °C,  $t_2 = 131,8$  °C):

$$Q_3 = 10 \cdot 3935 \cdot (131,8 - 120) \cdot 1,05 = 487547 \text{ Вт}.$$

Середня різниця температур визначається згідно графіків температурного навантаження:

- для підігрівачів першої групи (підігрів вторинною парою 2-го корпусу випарної станції):



по формулі [к. 3, ф. 126]:

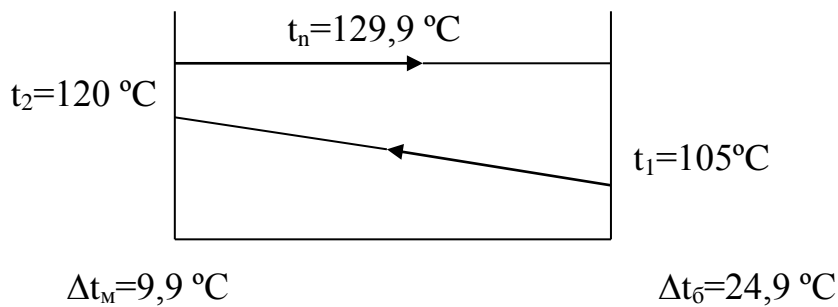


$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}} = \frac{33,9}{13,9} = 2,4 > 2,$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}}} = \frac{33,9 - 13,9}{2,3 \cdot \lg \frac{33,9}{13,9}} = 22,4 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.55)$$

- для підігрівачів другої групи (підігрів вторинною парою 1-го корпусу випарної станції):

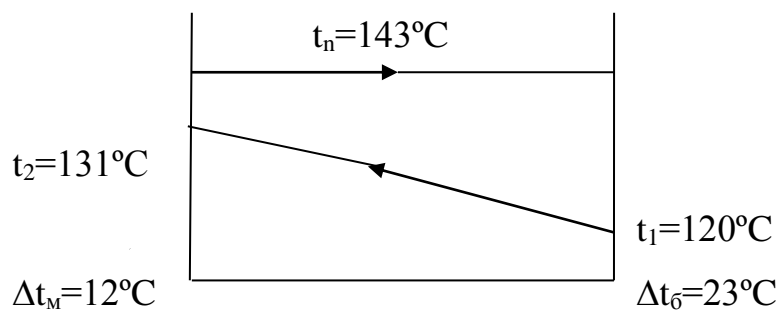


$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}} = \frac{24,9}{9,9} = 2,5 > 2,$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}}} = \frac{24,9 - 9,9}{2,3 \lg \frac{24,9}{9,9}} = 16,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- для підігрівачів третьої групи (підігрів гриючою парою):



по формулі [5]:

$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{23}{12} = 1,9 > 2,$$

Тоді

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2} = \frac{23+12}{2} = 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2.56)$$

Згідно рекомендацій[4] приймаємо коефіцієнт теплопередачі:

$K_1 = 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - для першої групи;

$K_2 = 700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - для другої групи;

$K_3 = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - для третьої групи.

Поверхні теплообміну підігрівачів (2.36):

$$F_i = \frac{Q_i}{K_i \cdot \Delta t_{\text{ср},i}} ;$$

$$F_1 = \frac{826350}{600 \cdot 22,4} = 61,5 \text{ м}^2 ;$$

$$F_2 = \frac{619763}{700 \cdot 16,3} = 54,3 \text{ м}^2 ;$$

$$F_3 = \frac{487547}{800 \cdot 17,5} = 35 \text{ м}^2 .$$

Приймаємо для всіх трьох груп підігрівачів кожухотрубні теплообмінники марки (ГОСТ 15122-79) з поверхнею теплообмінна  $35 \text{ м}^2$  (теплообмінник з нерухомими трубними гратками в вертикальному виконанні (буква В в чисельнику) має кожух діаметром 400 мм, нерж'ємні росродільчі камери (цифра 1 в чисельнику);

розрахований на умовний тиск 0,6 МПа; труби мають наружний діаметр 25 мм гладкі (буква Г в знаменнику), довжиною 4 м; кількість ходів в трубному просторі - 1. Позначка Б ( в чисельнику вказує матеріал кожуха і трубок в відповідності до ГОСТ 15122-79). В першій і другій групах встановлюємо по 2 - а теплообмінника, а в третій - один.

## 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Вибір конструкційних матеріалів

При конструюванні хімічної апаратури до конструкційних матеріалів пред'являються наступні вимоги:

- достатня загальна хімічна та корозійна стійкість матеріалів в агресивному середовищі з заданими концентрацією, температурою і тиском;

- достатня механічна міцність при заданому тиску і температурі технологічного процесу;

- найкраща спроможність матеріалу зварюватися з забезпеченням високих механічних властивостей зварних сполучень та корозійної стійкості їх в агресивному середовищі;

- вплив матеріалу на смакові якості та його товарний вид (критерій специфічний для харчової промисловості);

- низька вартість матеріалу, не дефіцитність та освоєність його промисловістю.

Сталь 12X18T10T задовольняє всі вимоги: стійкість до середовища (барда, її пари та конденсат що мають високу хімічну агресивність), механічна міцність та властивість зварюватися [6]. Сталь технологічна в обробці, добре деформується в гарячому та холодному станах. Сталь добре зварюється і не потребує обов'язкової термічної обробки виробу після зварювання.

Виходячи з вищевказаного, в якості конструкційного матеріалу для випарної установки вибираємо сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72.

### 3.2 Розрахунок на міцність та стійкість

Визначення товщини стінки апарата

Проводимо по[5]:

Товщина стінки циліндричної частини кип'ятильника визначається:

$$S_1 = \frac{P \cdot D_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} + c, \quad (3.1)$$

де  $P=0,3$  МПа – робочий тиск в апараті із нормового ряду (при температурі гріющої пари  $t=128,9$  °С:  $P=290$  кПа= $0,29$  МПа);

$D_b=1,4$  м – внутрішній діаметра кип'ятильника;

$[\sigma]$  – допустиме навантаження для матеріалу стінки, МПа, виготовлених з нержавіючої сталі [5]:

$$[\sigma] = \xi_{\min} \frac{\sigma_m}{n_m}, \quad (3.2)$$

де  $\xi_{\min}=0,9$  – поправочний коефіцієнт;

$[\sigma]_m=20$  кг·с/мм<sup>2</sup>= $196$  МПа – межа текучості матеріалу 12Х18Н10Т [5];

$n_m=1,5 \dots 2,0$  – коефіцієнт міцності [к.6,ст.123], прийmemo  $n_m=1,7$ ;

Тоді

$$[\sigma]=0,9 \cdot \frac{196}{1,7} = 103,8 \text{ МПа};$$

$\varphi=0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c$  – надбавка до розрахункової товщини (конструктивний додаток):

$$c = c_k = \Pi \cdot \tau = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм} = 0,001 \text{ м},$$

де  $\Pi=0,1$  мм/рік – корозійна проникливість;

$\tau=10$  років – термін служби апарата;

Тоді

$$S_1 = \frac{0,3 \cdot 1,4}{2 \cdot 103,8 \cdot 0,9 - 0,3} + 0,001 = 0,0033 \text{ м} = 3,3 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S_1=5$  мм.

Товщина стінки циліндричної частини сепаратора [5]:  $S_2=2,7$  мм,

Приймаємо  $S_2=5,0$  мм;

Де  $P=0,2$  МПа – робочий тиск в апараті із нормованого ряду (при температурі граючої пари  $t=120,4$  °С:  $P=198,2$  кПа =  $0,196$  МПа);

$D_{\text{в}}=1,6$  м – внутрішній діаметр кип'ятильника;

$[\sigma]=103,8$  МПа – допустиме навантаження для матеріалу стінки;

$\varphi=0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c=0,001$  м – надбавка до розрахункової товщини (конструктивний додаток).

Товщина стінки сферичної кришки сепаратора [5]:

$$S_3 = \frac{P \cdot D_{\text{н}} \cdot y}{4 \cdot [\sigma] \cdot \varphi} + c, \quad (3.3)$$

де  $P=0,2$  МПа - робочий тиск в апараті із нормованого ряду (при температурі граючої пари  $t=120$  °С:  $P=198,2$  кПа =  $0,196$  МПа);

$D_{\text{н}}=1,0$  м – приймаємо діаметр внутрішньої циліндричної частини, що знаходиться над сепараційним простором;

$[\sigma]=103,8$  МПа – коефіцієнт міцності зварного шва;

$\varphi=0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c$  – конструктивний додаток, м:  $c=c_1+c_2+c_3+c_4$ ,

де  $c_1=0,001$  м – додаток на корозію;

$c_2$  – додаток на ерозію (не враховується в зв'язку з невеликою швидкістю руху продукту);

$$c_3 = -0,5 \text{ мм} = -0,0005 \text{ м} - \text{від'ємний додаток [5];}$$

$c_4 = 0,002 \text{ м}$  – технологічний додаток, що враховує особливості виготовлення, транспортування та монтажу;

$$c = 0,01 - 0,0005 + 0,002 = 0,0025;$$

$y$  – коефіцієнт форми кришки [6] по відношенню:

$$\frac{h}{D_n} = \frac{0,2}{1,0} = 0,2 \text{ та } \alpha = 0, y = 2,0;$$

Тоді

$$S_3 = \frac{0,2 \cdot 1,0 \cdot 2,0}{4 \cdot 1038 \cdot 0,9} + 0,0025 = 0,0036 \text{ м} = 3,6 \text{ мм},$$

Приймаємо  $S_3 = 5,0 \text{ мм}$ .

Розрахунок товщини стінки днища

Сферична кришка кип'ятильника.

Товщина стінки сферичних кришок кип'ятильника [5]:

$$S_4 = \frac{P \cdot D_e \cdot y}{4 \cdot [\sigma] \cdot \varphi} + c, \quad (3.4)$$

де  $P = 0,3 \text{ МПа}$  – робочий тиск в апараті;

$D_v = 1,4 \text{ м}$  – приймаємо діаметр внутрішньої циліндричної частини, що знаходиться над сепараційним простором;

$[\sigma]=103,8$  МПа – допустиме навантаження для матеріалу стінки;

$\varphi=0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c=0,0025$  м – конструктивний додаток;

$y$  – коефіцієнт форми кришки [6] по відношенню:

$$\frac{h}{D_B} = \frac{0,15}{1,4} = 0,01 \text{ та } \alpha=0, y=2,0;$$

Тоді

$$S_4 = \frac{0,3 \cdot 1,4 \cdot 2,0}{4 \cdot 103,8 \cdot 0,9} + 0,0025 = 0,0048 \text{ м} = 4,8 \text{ мм},$$

Приймаємо

$$S_4 = \frac{0,3 \cdot 1,4 \cdot 2,0}{4 \cdot 103,8 \cdot 0,9} + 0,0025 = 0,0048 \text{ м} = 4,8 \text{ мм},$$

Приймаємо  $S_4=5,0$  мм.

Товщина стінки циліндричної частини сепаратора, що знаходиться над сепараційним простором [5]:

$$S_5 = \frac{P \cdot D_g}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} + c = \frac{0,2 \cdot 1,0}{2 \cdot 103,8 \cdot 0,9 - 0,2} + 0,001 = 0,0021 \text{ м} = 2,1 \text{ мм},$$

Приймаємо  $S_5=3,0$  мм,

де  $P=0,2$  МПа - робочий тиск в апараті;

$D_B=1,0$  м – внутрішній діаметр кип'ятильника;

$[\sigma]=103,8$  МПа – допустиме навантаження для матеріалу стінки;

$\varphi=0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c=0,001$  – надбавка до розрахункової товщини (конструктивний додаток);



Товщина стінки конічного дна сепаратора [5]:

$$S_6 = \frac{P \cdot D_6}{2 \cdot [\sigma] \cdot \cos \alpha - P} + c = \frac{0,2 \cdot 1,6}{2 \cdot 103,8 \cdot 0,9 \cdot 0,8116 - 0,2} + 0,001 = 0,0031 \text{ м} = 3,1 \text{ мм},$$

Прийmemo  $S_6 = 5,0$  мм,

де  $P = 0,2$  МПа – робочий тиск в апараті із нормованого ряду (при температурі граючої пари  $t = 120,4$  °С:  $P = 198,2$  кПа =  $0,196$  МПа);

$D_6 = 1,6$  – внутрішній діаметр кип'ятильника;

$[\sigma] = 103,8$  МПа – допустиме навантаження для матеріалу стінки;

$\varphi = 0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c = 0,001$  м – надбавка до розрахункової товщини ( конструктивний додаток).

Товщина стінки конічного дна сепаратора [5]:

$$S_6 = \frac{P \cdot D_6}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot \cos \alpha - P} + c = \frac{0,2 \cdot 1,6}{2 \cdot 103,8 \cdot 0,9 \cdot 0,8116 - 0,2} + 0,001 = 0,0031 \text{ м} = 3,1 \text{ мм},$$

Приймаємо  $S_6 = 5,0$  мм,

де  $P = 0,2$  МПа – робочий тиск в апараті із нормованого ряду (при температурі граючої пари  $t = 120,4$  °С:  $P = 198,2$  кПа =  $0,196$  МПа);

$[\sigma] = 103,8$  МПа – допустиме навантаження для матеріалу стінки;

$\varphi = 0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c = 0,001$  м – надбавка до розрахункової товщини (конструктивний додаток);

$$\cos \alpha = \frac{h}{c} = \frac{1,12}{1,38} = 0,8116 (\alpha = 34^\circ) \text{ – дивись рис.3.1 .}$$

Приймаємо  $h = 0,7 \cdot D_6 = 0,7 \cdot 1,6 = 1,12$  м,

Тоді

$$c = \sqrt{\left(\frac{1,6}{2}\right)^2 + 1,12^2} = 1,38 \text{ м.}$$

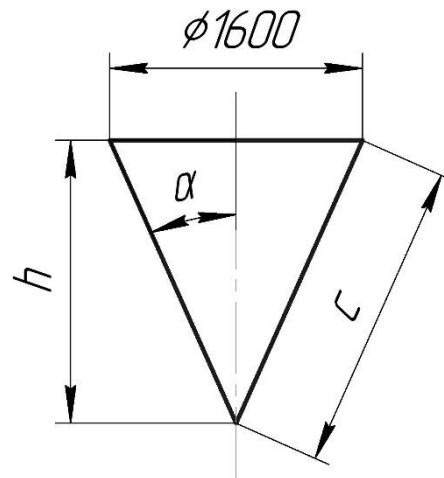


Рис.3.1 Конічне дно сепаратора.

Товщина стінки конічного переходу сепаратора так як кут нахилу образуючого конічного переходу дорівнює куту нахилу образуючої конічного дна  $\alpha$ , прийmemo  $S_7=S_6=5$  мм.

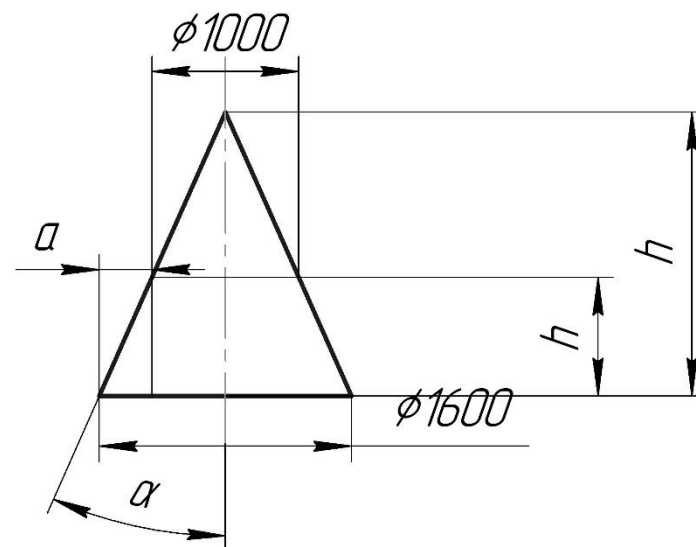


Рис.3.2 Конічний перехід.

$$t_\alpha = \frac{\alpha'}{h'}; \quad \alpha' = \frac{1,6 - 1,0}{2} = 0,3 \text{ м;}$$

$$\operatorname{tg}34^\circ = \frac{0,3}{h'}; \quad h' = \frac{0,3}{\operatorname{tg}34} = 0,445 \text{ м.}$$

### Розрахунок товщини трубної решітки

Розрахунок товщини трубної решітки  $S_p$  (м) визначається за формулою [6]:

$$S_p = (1,7 \cdot S_k \cdot \sqrt[4]{l \cdot \frac{P_0}{[\sigma]}})^{0,8}, \quad (3.5)$$

де  $S_k = 0,005$  м - товщина стінки кожуха кип'ятильника;

$l = 4$  м - довжини труби кип'ятильника;

$P_0$  - розрахунковий тиск, приймається більше із двох величин [6]:

$$P_0 = (0,6 + 0,4 \cdot \alpha) \cdot (P_M - P_T) - \rho \cdot (P_T - 0,6 \cdot P_M) + \gamma \cdot k \cdot l;$$

$$P_0 = - (\alpha + 0,6 \cdot (1 - \alpha) + \rho) \cdot P_{\text{проб.}}$$

де  $P_T$  - тиск в трубному просторі (при  $t = 120,43^\circ\text{C}$   $P_T = 2,1$  гкс/см<sup>2</sup> =  $2,1 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>);

$P_M$  - тиск в міжтрубному просторі (при  $t = 120,43^\circ\text{C}$ :  $P_T = 2,6$  гкс/см<sup>2</sup> =  $2,6 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>);

$P_{\text{проб.}}$  - пробний тиск ( $P_{\text{проб.}} = 1,25 \cdot P_M = 1,25 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>);

$\alpha$  - коефіцієнт перфорації трубної ґратки по внутрішньому діаметру трубок [5]:

$$\alpha = 1 - \frac{i}{4} \cdot \left( \frac{d_6}{\alpha} \right)^2 = 1 - \frac{192}{4} \cdot \left( \frac{0,052}{0,7} \right)^2 = 0,74, \quad (3.6)$$

де  $i = 192$  шт. - кількість отворів в трубній ґратці;

$d_6 = 0,052$  м - внутрішній діаметр трубки;

$\alpha = 1,4/2 = 0,7$  м - радіус апарата (кип'ятильника);

$\rho$  - відношення жорсткості трубок до жорсткості кожуха [5]:

$$\rho = \frac{E_m \cdot F_m}{E_k \cdot F_k} = \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,082}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,022} = 3,73, \quad (3.7)$$

де  $E_T = E_K = 2,1 \cdot 10^{11}$  Н/м - модуль пружності матеріалу труб та кожуха (ст. 62, к. 6);

$F_T$  - загальна площа перерізу стінок трубок, м<sup>2</sup> :

$$F_T = n \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_g^2) = 192 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,057^2 - 0,052^2) = 0,082 \quad (3.8)$$

де  $n=192$  шт. - кількість трубок в решітці

$d_b=0,052$  м - внутрішній діаметр трубки;

$d_n=0,057$  м - зовнішній діаметр трубки;

$F_k$  - площа перерізу стінок кожуха (корпуса), м<sup>2</sup> [6]:

$$F_k = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot S_k = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,005 = 0,022 \text{ м}^2, \quad (3.9)$$

де  $S_k=0,005$  м - товщина стінки кожуха (корпуса);

$\alpha=0,7$  м - радіус апарата;

$\gamma$  - розрахунковий температурний коефіцієнт [6]:

$$\gamma = \alpha_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K = 0,000011 \cdot (124,5 - 128) = -3,6 \cdot 10^{-5}, \quad (3.10)$$

де  $\alpha_T, \alpha_K=0,000011$ - коефіцієнт температурного розширення матеріалу трубок та кожуха (ст. 28. к. 9);

$t_T \approx \frac{120,43 + 128,93}{2} = 124,7$  °С - температура трубок;

$t_K \approx 129$  °С – температура кожуха ;

$k$  – модуль пружної основи (системи трубок) [6]:

$$k = \frac{E_m \cdot F_m}{i \cdot \pi \cdot \alpha^2} = \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,082}{192 \cdot 3,14 \cdot 0,7^2} = 5,8 \cdot 10^7 ; \quad (3.11)$$

Тоді

$$P_0 = (0,6 + 0,4 \cdot 0,74) \cdot (2,6 \cdot 10^5 - 2,1 \cdot 10^5) - 3,73 \cdot (2,1 \cdot 10^5 - 0,6 \cdot 2,6 \cdot 10^5) - \\ - 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot 5,8 \cdot 10^7 \cdot 4 = -467102 \text{ Н/м}^2 ;$$

-

$$P_0 = - (0,74 + 0,6 \cdot (1 - 0,74) + 3,73) \cdot 1,25 \cdot 2,6 \cdot 10^5 = -1503450 \text{ Н/м}^2 \approx -1,50 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 ;$$

$[\sigma_0] = 20 \text{ кгс/мм}^2 = 2,0 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$  - номінально допустиме напруження (для трубних ґраток беремо  $S_r$ , [6].

Тоді

$$S_p = (17 \cdot 0,005 \cdot \sqrt[3]{4} \cdot \frac{1,5 \cdot 10^6}{2,0 \cdot 10^8})^{0,8} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,0 \text{ мм},$$

що не менше прийнятої конструктивно  $S_p = 12 \text{ мм}$ , яку й беремо для подальших розрахунків.

Напруження згину в трубній ґратці [6]:

$$\sigma = \frac{6 \cdot M_{\max}}{\psi_p \cdot S_p^2} , \quad (3.12)$$

де  $M_{\max}$  - розрахунковий згинальний момент [6]:

$$M_{\max} = A \cdot \frac{Q_a}{\beta} , \quad (3.13)$$

де  $A$ -коефіцієнт:  $A = f(m, \omega)$ , визначаємо по табл. 1.7, [6];

де  $m$  - характеристика кріплення ґратки по контуру [6]:

$$m = \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a}, \quad (3.14)$$

де  $\beta$ - коефіцієнт системи ґратка - трубки [6]:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{D_c}}, \quad (3.15)$$

де  $D_\psi$  - жорсткість трубної ґратки [6]:

$$D_\psi = \frac{E_p^t \cdot S_p^3}{10,9} \cdot \psi_p, \quad (3.16)$$

де  $t=0,074$  м - крок розбивки отворів в трубній ґратці;

$\psi_p$  - коефіцієнт жорсткості трубної решітки [6]:

$$\psi_p = \psi_0 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \frac{d_0}{S_p}\right), \quad (3.17)$$

де  $d = 0,057$  м - діаметр отворів в ґратці;

$\psi_0$  - коефіцієнт жорсткості перфорованої плити [6]:

$$\psi_0 = \alpha_p^2 \cdot \sqrt[3]{\alpha_p} \quad (3.18)$$

де  $\alpha_p$  - розрахунковий коефіцієнт перфорації для приварних трубок [6]:

$$\alpha_p = \alpha = 0,74; \quad (3.19)$$

Тоді

$$\psi_0 = 0,74^2 \cdot \sqrt[3]{0,74} = 0,5;$$

Тоді

$$\psi_p = 0,5 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \frac{0,057}{0,012}\right) = 0,74;$$

Тоді

$$D_\psi = \frac{(2,1 \cdot 10^{11})^{0,074} \cdot 0,012^3}{10,9} \cdot 0,74 = 8,14 \cdot 10^{-7};$$

Тоді

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{5,8 \cdot 10^7}{8,14 \cdot 10^{-7}}} = 2918;$$

$M_a$  - згинаючий момент, розподілений по контуру решітки [6]:

$$M_a = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{P_o \cdot a \cdot \Phi_2 - t \cdot (\Phi_1 + 2 \cdot \rho)}{(\Phi_1 + 2 \cdot \rho) \cdot (\Phi_3 + \theta) - \Phi_3}, \quad (3.20)$$

де  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  - коефіцієнт в функції безрозмірного параметра [6]:

$$\omega = \beta \cdot \alpha = 2918 \cdot 0,7 = 2159; \quad (3.21)$$

при  $\omega > 7$  [к. 10, ст. 196]:

$$\Phi_1 = \Phi_3 \approx \omega \cdot \sqrt{2} = 2159 \cdot \sqrt{2} = 3054; \quad (3.22)$$

$$\Phi_2 \approx \omega = 2159; \quad (3.23)$$

$\Theta$  - коефіцієнт міцності ґратки [6]:

$$\Theta = \frac{t - d_0}{t} = \frac{0,074 - 0,057}{0,074} = 0,23; \quad (3.24)$$

тоді

$$M_a = \frac{1}{2918} \cdot \frac{1,53 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 2159 - 0,74 \cdot (3054 + 2 \cdot 3,73)}{(3054 + 2 \cdot 3,73) \cdot (3054 + 0,23) - 3054^2} = 0,17 \text{ Н/м}^2;$$

$Q_a$  - навантаження на трубку решітку, Н:

$$Q_a = P_m \cdot F_m = 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (1,4^2 - 192 \cdot 0,057^2) = 272855 \text{ Н}, \quad (3.25)$$

де  $F_m = \frac{\pi}{4} (D_B^2 - i \cdot d_B^2)$  - площа трубної решітки  $\text{м}^2$ ; (3.26)

Тоді

$$m = \frac{2118 \cdot 0,17}{272855} = 1,82 \cdot 10^{-3}$$

Тоді  $A = 0,3$ ;

Тоді

$$M_{\max} = 0,3 \cdot \frac{272855}{2918} = 28 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Тоді



$$\sigma = \frac{6 \cdot 28}{0,74 \cdot 0,012^2} = 0,16 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2 \leq [\sigma] = 2,0 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2 - \text{ умова виконується,}$$

Відповідно товщина трубної решітки  $S_p = 0,012 \text{ м}$ .

## 4 БУДІВЕЛЬНО – МОНТАЖНА ЧАСТИНА

### 4.1 Обґрунтування компонування обладнання установки

Розміщення обладнання проводимо в приміщенні, так як воно потребує постійного обслуговування персоналом, та запобігає впливу погодних умов на режими роботи обладнання. Також підвищується довговічність обладнання. Щоб розмістити обладнання цеху випарювання після спиртової барди (збірника барди, 4-х випарних апаратів, 4-х збірників конденсату, барометричного конденсатора, збірника барометричної води та 5-ти насосів) вибираємо споруду з серії ИИ 20/70 з розміром пролетів 9 м та кроком колон 6 м. Враховуючи характер виробництва, технологію процесу, умови для монтажу та ремонту апаратів, обладнання розміщуємо на трьох поверхах (на нульовій відмітці знаходяться насоси, збірник барометричної води та чотири збірники конденсату. На відмітці 7200 мм знаходяться чотири корпуси випарних апаратів. На відмітці 13200 мм знаходяться: збірник барди, 5 підігрівачів, насос та барометричний конденсатор), отже вибираємо споруду схеми 2-9-3 з висотами поверхів: 7,2; 6,0; 6,0 м. Для можливості транспортування обладнання та різних пристосувань в середину приміщення в споруді передбачені роздвижні ворота (4,2\*4,2 м). Кількість вікон та їх направлення по горизонту в споруді повинно забезпечувати освітленість в денний час, необхідну для обслуговування обладнання. Для влаштування випарних апаратів на другому поверсі використаємо сталеві балки, які опираються на полки ригелів. Настил кругом апаратів виконуємо з листів рифленої сталі. На другому поверсі обладнання встановлюємо на ребристих плитах перекриття.

Планування розміщення обладнання в цеху повинно відповідати безпечним умовам праці. Відстань між виступаючими частинами машин та елементами споруд, де немає руху людей - не менше 0,5 м, в місцях проходу людей - не менше 0,8 м. Між обладнанням, встановленим одне перед одним відстань не менше 1,5 м. Мінімальна відстань від верхньої точки обладнання до балок перекриття 0,5 м.

Постійні площадки обслуговування машин та устаткування, розташовані на висоті (2-й та 3-й поверхи) повинні мати огорожі та сходи з поруччям. Висота огорож поруччя повинна бути не менше 1,0 м. На висоті 0,5 м від настилу площадки повинен бути додатковий горизонтальний елемент.

Вертикальні стояки огорож, поруччя повинні розміщуватися з кроком не більше 1,2 м. З країв настилу площадок повинні мати суцільну зашивку висотою не менше 0,15 м.

Сходи висотою понад 1,5 м повинні мати нахил не більше 45 градусів. Сходи на висоті 3-5 м повинні мати перехідну площадку. Ширина сходів повинна складати не менше 0,8 м. Крок сходів повинен становити не більше 0,25 м, ширина сходинок не менше 0,12 м.

#### 4.2 Проведення монтажних та ремонтних робіт основного технологічного обладнання

Для виконання будівельних робіт і монтажу необхідна такі матеріали:

компонувальні креслення в масштабі 1:100 зі специфікацією технологічного й допоміжного обладнання;

проект монтажу обладнання в масштабі 1:50;

кошторис на проведення монтажних робіт.

проект монтажного майданчика повинен охоплювати наступні питання:

взаємозв'язок робіт з оснащення монтажного майданчика з планом виконання будівельних робіт;

організацію складського господарства й транспортування обладнання до приміщень, де проводиться монтаж;

організацію тимчасових майстерень по монтажу.

Одним з головних факторів швидкісних методів монтажу є механізація монтажних робіт.

Монтаж апаратів проводять відповідно до установочних креслень в наступному порядку:

- 1) розмічають місце установки апарата;
- 2) роблять складання металевого каркаса під апарат;
- 3) встановлюють апарат на каркасі й вивіряють його положення;
- 4) виготовляють обслуговуючий майданчик;
- 5) приєднують до апарата трубопроводи і контрольно-вимірні прилади;

Особливістю монтажу апарата є велика кількість металевих великогабаритних конструкцій.

Монтаж апарата починається із монтажу каркаса під апарат. Потім за допомогою рівня вивіряють стійки каркаса на вертикальність, а їх взаємне розташування в плані контролюється струнами.

Після вивірки і встановлення каркаса здійснюють підливку бетоном.

Після досягнення бетоном міцності 60 % приступають до монтажу блоків випарних апаратів на каркас, перевіряючи їх вертикальність відносно основної вісі апарата.

При проведенні монтажних робіт повинні виконуватись правила техніки безпеки, складені і затверджені з відповідністю до діючого законодавства по охороні праці.

Обладнання з місця його зберігання (розвантаження) до місця його монтажу транспортується за допомогою автотранспорту (автокрана і вантажного автомобіля, лебідки).

Монтаж обладнання проводиться в повній відповідності до монтажних креслень. При встановленні кожної одиниці обладнання, вказаної на монтажному кресленні, повинні виконуватись всі технічні вимоги, вказані на складальних кресленнях кожної одиниці обладнання.

Монтаж обладнання виконуємо в наступному порядку:

- 1) розмічаємо місця встановлення апаратів;
- 2) в міжповерхових перекриттях на місцях встановлення апаратів робимо монтажні пройми, через які за допомогою лебідки та блоків підіймаємо корпуси

апаратів на необхідну висоту і закріплюємо їх болтами, сумістивши отвори опірних лап та рами, при цьому перевіряємо за допомогою відвіса вертикальність його основної вісі; до монтажних проїомів апарати транспортуємо автотранспортом або за допомогою лебідки та блочків тягнучи апарат на металевому листі по підлозі;

3) збірник барди, який встановлюється на 3-му поверсі виготовляється із листової сталі безпосередньо на площадці монтажу;

4) збірники конденсату та збірник барометричної води монтується на фундаменти на першому поверсі;

5) встановлюємо насоси для на відповідні фундаменти. Правильність установки насосів перевіряємо по рівню;

6) вузли трубопроводів (продуктопроводів, паро- та конденсатопроводів, водопроводів) монтуємо в відповідності з робочими кресленнями (трубопроводи повинні розміщуватися так, щоб не мішати обслуговуванню апаратів і щоб легко можна було виконувати очищення, ремонт та нагляд за їх станом). При монтажі апаратів, трубопроводів та насосів особливо уважно виконуємо з'єднання, які забезпечують герметичність установки (фланці, місця зварювання, вентилі, засувки, оглядові вікна і т.ін.).

По закінченні монтажу апаратів проводять випробування їх на герметичність.

7) після проведення обв'язки обладнання проводиться установка контрольно-вимірювальних приладів, а також прокладання кабельних ліній.

Для забезпечення планування і реалізації технічного обслуговування та ремонту в визначені терміни в необхідній послідовності при визначених об'ємах на підприємстві повинна бути впроваджена система технічного обслуговування і ремонту.

Система технічного обслуговування і ремонту - це комплекс організаційно-технічних заходів по веденню документації, технічному обслуговуванню та ремонту обладнання, забезпечення необхідних заходів персоналом та відповідними матеріально-технічними засобами.

Система ТО і Р включає два види робіт: міжремонтне технічне обслуговування, проведення в визначені терміни планових ремонтних робіт.

В основному випарну установку зупиняють для ремонту при наступних основних неполадках: забруднення площ теплообміну кип'ятильників та появи пропусків рідини чи пари.

Ремонт установки включає очищення поверхні нагріву кип'ятильників від накипу та інших забруднень, ремонт поверхонь нагріву; скруток та інших місць з'єднань, усунення дефектів в трубопроводах.

Крім вказаних операцій проводять ремонт запірних органів, ізоляції та насосів.

При очищенні поверхні нагріву вилучають відкладені на стінках апарату (трубках) мінеральні та органічні речовини, які є в складі продукту що нагрівається.

Для ремонту трубчатки кип'ятильника застосовують такі види очищення від накипу: хімічне, термічне, гідравлічне, механічне. Найбільш поширена механічна та хімічна очистка сталених труб. Механічна очистка проводиться за допомогою шарошок, які приводяться в обертальний рух від електродвигуна через гнучкий вал, або гідротурбіни. Очищення труб проводять зверху вниз і під час чищення в трубу подається вода для зливу накипу і охолодження шарошок. Кожну трубу "проходять" шарошками зверху вниз і назад, якщо при цьому шар накипу знятий не повністю, операцію повторюють.

При хімічному очищенні апаратів (промивання станції випарювання барди лугом), останні промиваються розчином лугу, підігрітим до температури 100 °С. Після цього установка прокачується водою, а потім розчином барди.

Очищення поверхні нагріву (механічна) повинна закінчуватися перевіркою якості виконаної роботи. Для цього уважно оглядають очищені поверхні, освітлюючи їх низьковольтною електролампю або іншим джерелом світла.

Ремонт поверхні нагріву кип'ятильника складається з таких операцій: 1) огляду поверхні нагріву; 2) вилученню труб, що підлягають заміні (їх заглушуванню пробками, якщо їх кількість не перевищує 10 % загальної їх кількості); 3) підготовці нових труб і трубної решітки; 4) встановленні трубок і розвальцювання; 5) випробування.

Огляд поверхні нагріву проводять після очищення апарату від накипу під час гідравлічного випробування.

Під час опресування апаратів, якщо деякі трубки протікають до досягнення пробного тиску ( $P = 1,5P_{0,2}$  МН/м<sup>2</sup>), їх заглушують дерев'яними пробками і продовжують випробування. При опресуванні апарата проводять уважний огляд трубної решітки, на якій можуть бути виявлені тріщини, раковини та інші дефекти.

Після гідравлічного випробування та спуску води з апарата для більш повної картини про стан поверхні нагріву необхідно вийняти із апарата декілька трубок із діаметрально протилежних місць і уважно їх оглянути. Видалені трубки оглядають, фіксують місцезнаходження корозійних і ерозійних поверхонь, проводиться визначення товщини металу в найбільш вражених місцях. Після огляду зношені трубки замінюються новими.

Ремонт трубних решіток зводиться для усунення тріщин електрозваркою і підготовці отворів в решітці (видалення бруду і мастила; промиванні, зачистці й обдуванні стисненим повітрям; при необхідності усунення конусності і еліптичності проводиться розверчування). Перед встановленням труб отвір повинен мати чисту і яскраву поверхню.

Підготовка труб до встановлення проводиться відрізанням необхідної їх довжини, зачищенні їх кінців, яка проводиться безпосередньо перед встановленням.

Вальцювання розділяється на дві операції: встановлення і прихватку труб, а потім кінцеве розвальцювання.

Вальцювання труб виконується як найшвидше після зачистки отворів та кінців труб. При цьому особливу увагу звертають на якість вальцювального з'єднання. Якщо при гідравлічному випробуванні труба потекла, то підвальцювати її більше 2-3 разів неприпустимо.

При експлуатації трубопроводів зустрічаються в основному 2-а види неполадок: 1) порушення герметичності, в результаті чого проходить витікання рідини (пари); 2) пошкодження окремих деталей трубопроводу, фланців, муфт, шпильок та гайок.

Герметичність частіше всього порушується в місцях з'єднання труб, в кранах і т.ін. В деяких випадках появляються щілини в шовних трубах в результаті високого тиску, та дії високої температури. Порушується герметичність в трубопроводах

також від корозії. З'єднувальні частини трубопроводів ламаються в результаті недбалого користуванні ними , а також корозії. Тріщини в трубопроводах заварюються, якщо їх багато на відповідному відрізку, то її доцільно замінити новою.

В місцях з єднань труб, протікання усувають підтягуванням фітингів, або розбиранням їх з підгонкою та встановленням необхідних ущільнювачів.

При заміні відрізків паропроводів необхідно слідкувати, щоб трубопровід мав постійний нахил в сторону руху конденсату.

При ремонті арматури проводять:

1) очищення внутрішніх поверхонь , сальникових коробок і фланців від накипу, пригара та бруду;

2) притирку та при необхідності заміну ущільнюючих поверхонь клапанів та сідел;

3) заміну сальникових ущільнювачів;

4) відновлення пошкоджених деталей (тріщини в корпусах, погнуті шпінделі і т.п.).

Кінцевим контролем придатності для експлуатації відремонтованої та складеної арматури, є гідравлічне випробування за допомогою гідравлічного пресу.



## 5 АВТОМАТИКА І АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 5.1 Опис контрольованих параметрів під час проведення технологічного процесу

Автоматизація виробництва дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, збільшити об'єм випуску продукції, підвищити продуктивність праці, зменшити (на 30-40 %) трудоемкість отримання продукту.

Основні схеми автоматизації розглянемо на прикладі двохкорпусної випарної установки. Метою управління випарною установкою є отримання розчину відповідної концентрації  $Q_y$ , а також підтримання матеріального і теплового балансу. Концентрація упареного розчину залежить від витрати, концентрації і температури вхідного розчину, витрати і тиску гріючої пари, тиску в випарних апаратах. В відповідності з ціллю управління схемою автоматизації передбачають регулювання концентрації упареного розчину (рис. 5.1). Концентрацію  $Q_y$  можна виміряти кондуктор метричним методом, по густині розчину, по показнику злому світла або по величині температурної депресії розчину, тобто по різниці температур кипіння  $\Delta T$  розчину і розчинника. Останній метод внаслідок простоти і наявності однозначної залежності між величинами  $Q_y$  і  $\Delta T$  при постійному тиску застосовують досить часто. При цьому первинний вимірювальний преобразувач температури кипіння розчину встановлюють на трубопроводі киплячого розчину після кип'ятильника, і вимірювальний преобразувач температури кипіння розчинника - на трубопроводі відводу парів розчинника. Ці прилади комплектують передаючим преобразувачем. сигнал на виході якого пропорційний різниці температур  $\Delta T$ . Регулятор концентрації  $Q_y$  впливає на клапан, встановлений на лінії відводу упареного розчину з останнього випарного апарата. При зростанні, наприклад, текучої концентрації відносно заданого значення регулятор збільшує

витрату упареного розчину, що зменшує час перебування його в апараті і викликає пониження концентрації розчину до заданого значення.

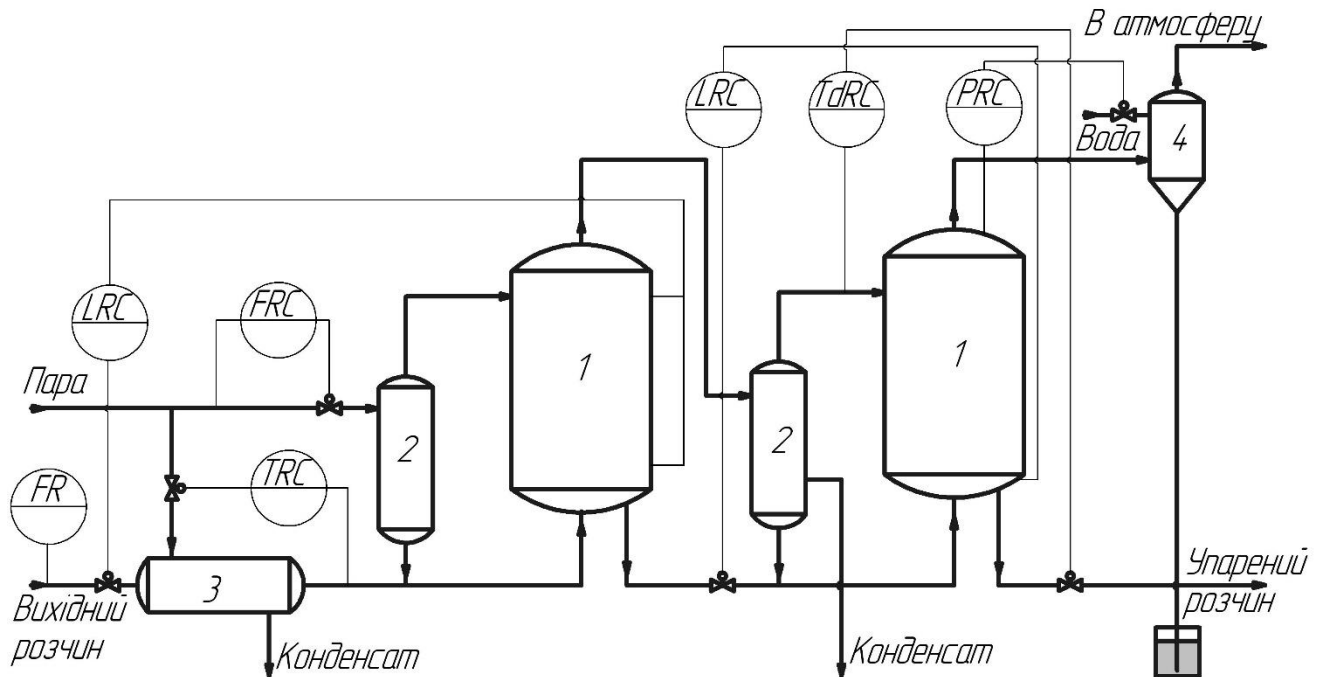


Рис. 5.1- Схема стабілізації технологічних величин випарної установки:

1- випарний апарат; 2- кип'ятильник; 3- теплообмінник; 4- барометричний конденсатор.

При відведенні упареного розчину із останнього апарата по його концентрації матеріальний баланс установки підтримують, зберігаючи рівність між кількістю розчиненої речовини, що виходить з установки, і кількістю речовини, поступаючої з вихідним розчином. Це забезпечується підтримуванням постійного рівня розчину в випарних апаратах шляхом впливу на клапани, встановлені на трубопроводах подачі розчину в відповідний апарат. При підвищенні витрати упареного розчину рівень в апараті понижується, що викликає збільшення подачі розчину в апарат. В якості вимірювальних преобразувачів АРС рівня розчину в випарних апаратах (поз. 1) зазвичай використовують гідростатичні рівнеміри.

Тепловий баланс процесу випарювання при невеликих коливаннях витрати вихідного розчину забезпечують регулятором витрати на трубопроводі подачі грючої пари в кип'ятильник (по. 2) першого корпусу установки. Нормальний тепловий режим роботи випарної установки можливий тільки при подачі вихідного

розчину з постійною температурою  $\Delta T$ , близької до температури кипіння розчину. Для досягнення цього встановлюють регулятор температури вихідного розчину, вихідний сигнал якого впливає на клапан, змінюючи подачу гріючої пари в теплообмінник - підігрівач вихідного розчину (поз. 3).

Якщо вся вторинна пара із попереднього корпусу направляється в кип'ятильник (поз. 2) послідуючого, то тиск (розрідження) стабілізують тільки в останньому корпусі, змінюючи за допомогою регулятора кількість парів розчинника, які з нього відводяться. Останнє зазвичай досягають шляхом зміни подачі охолоджуючої води в барометричний конденсатор (поз. 4). При такій схемі регулювання в корпусах встановлюються все менші тиски по ходу розчина і забезпечується різниця температур між вторинною парою із попереднього корпусу і розчином, киплячим в останньому корпусі, тобто забезпечується рушійна сила процесу випарювання.

Концентрацію упареного розчину  $Q_y$  можливо також регулювати зміною витрати розчину, що подається на останній корпус із попереднього. Упарений розчин із останнього корпусу в цьому випадку відводять по команді регулятора по рівню. При таких схемах регулювання матеріального балансу випарної установки кількість поступаючого на неї вихідного розчину визначається умовами її роботи. Це вимагає встановлення додаткової технологічної ємкості вихідного розчину.

Не рекомендується стабілізувати концентрацію упареного розчину в останньому корпусі впливаючи на подачу свіжого розчину на установку. Внаслідок великого запізнення об'єкта така схема не забезпечить високої якості регулювання.

Якщо витрата вихідного розчину залежить від роботи попередніх технологічних установок, але коливання його не значна, то концентрацію упареного розчину можна регулювати зміною подачі гріючої пари на установку. При цьому за допомогою регуляторів рівня в випарних апаратах змінюють кількість розчину, що відводиться з них.

При великих коливаннях витрати вихідного розчину, а також при зміні концентрації в ньому розчиненої речовини, якісне регулювання процесу

забезпечується використанням більш складних схем, наприклад, схеми багатоконтурного регулювання (рис. 5.2).

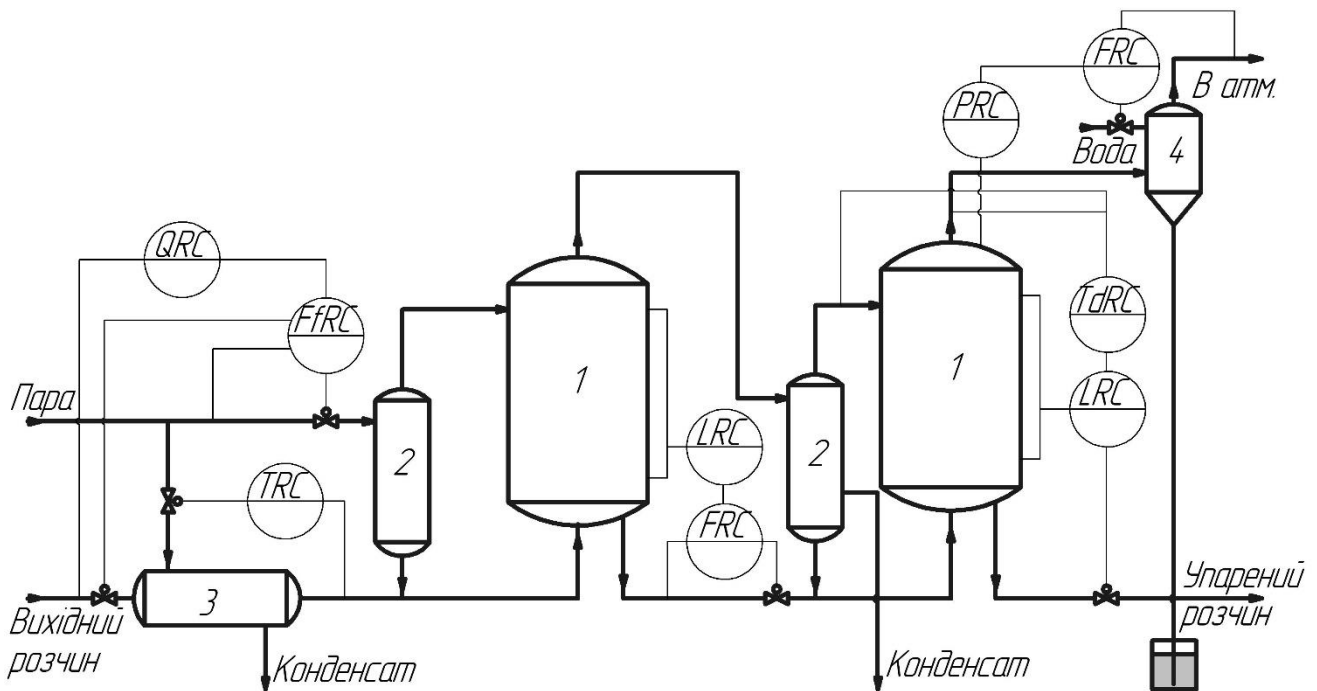


Рис. 5.2- Схема багатоконтурного регулювання випарної установки:

1- випарний апарат; 2- кип'ятильник; 3- теплообмінник; 4- барометричний конденсатор.

В цьому випадку гріючу пару подають на установку в визначеному співвідношенні з витратою вихідного розчину, застосовуючи регулятор співвідношення, впливаючий на подачу пари. Це співвідношення корегують регулятором концентрації розчиненої речовини в вихідному розчині. Для стабілізації роботи другого випарного апарата частково упарений розчин, що направляється в нього, регулюється по каскадній схемі регулювання витрати з корегуванням по рівню розчина в першому випарному апараті. Упарений розчин відводять з установки по рівню в останньому корпусі, регулятором, завдання якому змінює регулятор концентрації розчиненої речовини в упареному розчині. Тиск в системі підтримується на заданому значенні регулюванням витрати парів розчинника з корекцією по тиску в останньому випарному апараті.

Вказані на цьому малюнку (рис. 5.2) схеми багатоконтурного регулювання окремих технологічних величин можуть бути використані в різних сполученнях з найпростішими одноконтурними схемами стабілізації, які приведені на рис. 5.1.

## 5.2 Розроблення системи автоматизованого керування роботою обладнання

Спостереження за процесом випарювання і регулювання його технологічних параметрів виконується за допомогою засобів аналітичного контролю і контрольно-вимірювальних приладів (КВП).

Для здійснення оперативного управління необхідно контролювати найбільш важливі вхідні і вихідні параметри процесу випарювання.

Контроль здійснюється в першу чергу над тими параметрами, значення яких полегшує пуск, налагодження і вірне ведення технологічного процесу випарювання.

До найбільш сильних збурювань параметрів відноситься зміна витрати теплоносія. Ці возмущення компенсують встановленням стабілізуючого регулятора витрати. При ціле направленій зміні витрати теплоносія в об'єкт можуть вноситися і регулюючі дії.

Аналіз збурюючих дій в об'єкті управління показав, що частина параметрів, визначаючих концентрацію, буде змінюватися. Сильним збурюванням процесу випарювання, як правило, є також "засолення" гріючої камери теплообмінника. Щоб при наявності возмущаючих воздействий ціль управління була досягнута, слід в якості головної величини, яку регулюємо, брати концентрацію, а регулюючу дію вносити зміненням витрати.

Так, для досягнення цілі управлінням процесом в нашому випадку, а саме - регулювання процесом випарювання після спиртової барди в 4-х корпусній випарній установці, де вся пара з попереднього корпусу направляється в кип'ятильникнаступного, стабілізуємо температуру вторинної пари (тиск) в I-му корпусі шляхом регулювання подачі гріючої пари в кип'ятильники; температуру

вторинної пари в IV-му корпусі шляхом регулювання подачі води в барометричний конденсатор; витрати упареного розчину та подачі первинного розчину на підігрівачі.

Нормальний технологічний режим випарної установки можливий лише при температурі свіжого розчину, близькій до температури кипіння. В зв'язку з цим температуру розчину на виході з груп підігрівачів регулюємо зміною витрати гріючої пари в III-й групі підігрівачів. Для більш повної картини процесу контролюємо температури вторинної пари в II-му, III-му та I -му корпусах; температури нагріву первинного розчину після I-ї та II-ї групи підігрівачів, тиск вторинних парів в I-му, II-му та III-му корпусах.

На допоміжному обладнанні контролюємо та регулюємо наступні параметри:

- максимальний рівень розчину барди в збірнику (для запобігання переливу) шляхом регулювання її подачі;
- максимальний рівень барометричної води в барометричному конденсаторі (для запобігання переливу) шляхом регулювання відкачуванням її насосом;
- максимальний рівень конденсату в збірниках шляхом регулювання відкачуванням її насосом.

Також контролюємо та реєструємо витрати гріючої пари, первинного розчину барди та вихід упареної барди. При пускові випарної установки після перестою чи ремонту контролюємо рівень розчину барди в IV-му корпусі до досягнення нормального режиму роботи установки.

Характеристика контролю параметрів приведена в таблиці 5.1.

Розробка системи автоматизації базується на обліку багато чисельних технічних, економічних, виробничих, експлуатаційних та інших факторів об'єкта, що автоматизується, які формують вимоги до системи, в тому числі до оснащення її технічними засобами.

Оцінюючи можливі методи рішення функціональної задачі проводимо вибір необхідних технічних засобів системи автоматизації.

Умови пожежо- і вибухонебезпеки, агресивності навколишнього середовища та вимог до швидкодії передачі сигналів інформації і управління є визначаючими

при виборі технічних засобів по виду енергії носія сигналу (електричної, пневматичної, гідравлічної) в каналі зв'язку.

Враховуючи не вибухонебезпечність виробництва, вибираємо комбіновану (пневматичну та електричну) схему приладів.

Реєстрація витрат проводиться групою приладів, які складаються з камерної діафрагми ДК6-100-II-a/2-2, преобразувачем різниці тисків ДРЕМ-М, вторинного електронного приладу КСУ4-029.

Для регулювання тиску використовуємо регулятор тиску прямої дії 25ч10нж.

Регулювання рівня проводиться групою приладів: рівнемір буйковий пневматичний УП-Б в комплекті з вторинним приладом з вмонтованим регулятором ПВ10.1П.

Регулювання температури в корпусах установки проводиться комплектом приладів: термопреобразувачем опору ТСП-08579-01, електропневматичним преобразувачем ЭПП-М та вторинним пневмаичним самопишучим регулятором ПВ10.1П. Для контролю температури замість замість вищевказаного вторинного приладу використовуємо пневматичний вторинний прилад РПВ4.2П.

Регулювання тиску проводимо комплектом приладів: приобразувачем тиску МПЭ-МИ, електричним автоматичним потенціометром КСУ4-002. Для контролю тиску використовуємо приобразувач тиску 13ДИ30 та вторинний пневматичний прилад ПВ10.1П.

Всі прилади вибрані відповідно з границями вимірювання та відхиленнями контролюючих параметрів, що забезпечує автоматизацію протікання заданого процесу.

Прилади та засоби автоматизації занесені в додаток Б.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

### 6.1. Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів під час роботи обладнання

Випарна установка призначена для випарювання після спиртової барди. Нагрів барди до температури кипіння проводиться в кип'ятильниках за допомогою пари, яка проходить через між трубний простір. Утворений при цьому конденсат збирається в відповідних збірниках і потім відкачується відцентровими насосами на виробничі потреби. Апарати працюють під тиском. При виварюванні апаратів (хімічному очищенню) використовується розчин соляної кислоти.

Небезпечними та шкідливими виробничими факторами на робочому місці є: гарячий розчин барди, вода (конденсат), обладнання, пар, робочі органи насосів та приводів запірної арматури, електричний струм, підвищена температура робочої зони, токсична дія розчину для виварювання та вибухонебезпечні пари, які при цьому виникають.

Основними причинами аварій при експлуатації посудин, працюючих під тиском, є несправність або відсутність запобіжних пристроїв на посудині, дефекти, допущені при виготовленні, монтажі та ремонті посудин, значне перевищення тиску в наслідок несправності запобіжних клапанів, відсутності регулюючих пристроїв, порушення технологічного процесу, знос стінок посудин.

Безпечна робота випарних апаратів забезпечується, перш за все, систематичним контролем тиску граючої пари, вакууму в апараті, рівня, температури та концентрації розчину що випарюється.

Для безпечної експлуатації випарних апаратів необхідно правильно пускати їх в експлуатацію, відповідно інструкції, з врахуванням технологічних параметрів процесу, властивостей розчину що випарюється.

Схема підключення апаратів повинна виключати можливість виникнення тиску в вакуумній частині апаратів.



Експлуатація апаратів для випарювання, працюючих під тиском вище 0,07 МПа, повинна проводитись в відповідності з діючими правилами складу та безпечної експлуатації посудин, працюючих під тиском.

Випарні апарати повинні бути забезпечені арматурою та контрольно-вимірювальними приладами: оглядовими склянками, пробними кранами на висоті, зручній для обслуговування, вакууметром, манометрами на парових трубах, вентилем для з'єднання апарата з атмосферою, тягами або пружинними запобіжними клапанами, термометрами для вимірювання температури в паровому та розчинному просторі, різними вентилями на комунікаціях для управління апаратом, розміщеними по можливості зі сторони фронту обслуговування, лазером для внутрішнього огляду та ремонту апарата.

Запобіжні клапани повинні бути відрегульовані, запломбовані та обладнані пристроєм для примусового відкривання клапана і продувки його під час роботи апарата.

Випарні апарати повинні бути обладнані дренажними пристроями для видалення накопиченого конденсату. Конденсаційні збірники повинні оглядатися не рідше одного разу на місяць. Конденсат в конденсаційний збірник повинен поступати самоті ком.

Оглядові стекла апаратів працюючих під тиском та розрідженням, забезпечуються захисними пристроями, які захищають обслуговуючий персонал від осколків скла та гарячої маси. Стекла повинні бути товщиною не менше 10 мм. При їх розриву можливі травми обслуговуючого персоналу, тому при аваріях необхідно терміново перекривати парові вентиля та відкривати повітряний вентиль. Категорично забороняється працівникам знаходитись біля апарата до встановлення нових склянок. Розчино вимірювальні стекла необхідно закривати спеціальними сітками.

При експлуатації випарних апаратів необхідно виконувати встановлену технологію бродячих процесів та регулювати рівень розчину, температуру, тиск пари і концентрацію розчину. Також необхідно контролювати роботу «аміачних відтяжок» та автоматів, які відводять несконденсовані гази з випарних камер.

Для зливу готової продукції отвір вакуум-апарата прикривається засувкою, що забезпечує герметичність та надійність закривання.

Пристрій, регулюючий розрідження, забезпечується бай пасом з вентиляем.

Для відбору проб вакуум-апарати обладнуються спеціальними відбірниками, причому проби відбираються без порушення вакуума всередині апарата. В цілях попередження опіків обслуговуючого персоналу в момент зменшення розрідження в вакуум-апаратах повинні застосовуватися обмежувачі підйому пробок крана.

Для запобігання можливості відкривання люка при підвищенні тиску в вакуумній камері вище атмосферного, подачі пари та продукту на вакуум-апаратах необхідно встановити блокуючий пристрій. При цьому також повинна бути забезпечена подача звукового чи світлового сигналу.

При порушенні нормального технологічного режиму на підприємстві поверхня нагріву випарки швидко забруднюється, що потребує часті зупинки установки для чистки апаратів. Випарні апарати очищаються механічним або хімічним способом. Механічна чистка потребує багато часу, тому в основному використовують хімічну очистку під час коротких зупинок в період виробництва, а також при виключеному апараті.

Під час механічного чищення корпусів випарників у них вентилятором має подаватися чисте повітря.

Виварка випарних апаратів повинна проводитися під наглядом відповідальної особи з інженерно-технічного персоналу. Для запобігання скупчення вибухових газів (водню) випарні апарати повинні виварюватися при роботі повітряного насоса.

Для запобігання вибуху при виварюванні випарних апаратів лугом забороняється користуватися відкритим вогнем (курити, запалювати сірники, користуватися свічками, світильниками з відкритим вогнем і т.ін).

Посудини, працюючі під тиском, є обладнанням підвищеної небезпеки. Експлуатація їх проводиться відповідно з правилами складу та безпечної експлуатації посудин, працюючих під тиском, які поширюються на посудини, працюючі під тиском вище 0.07 МПа.

Для забезпечення безпечної роботи посудини обладнуються запірною арматурою, приладами для вимірювання тиску і температури середовища, запобіжними пристроями та показниками рівня рідини. Посудини, виготовлені заводом, повинні мати на видному місці металічні пластинки, на яких вказуються найменування заводу виробника, номер посудини, рік її виготовлення, допустиме значення робочого та пробного тиску, а також температуру стінки.

Крім цього, до кожної посудини повинен прикладатися технічний паспорт з кресленнями та розрахунками. Без цих документів він не може бути допущений до експлуатації.

Посудина повинна бути взята на облік на підприємстві. Для цього необхідно надати слідуючі документи: паспорт посудини, акт, який засвідчує відповідність монтажу та установки посудини проекту та вказаним вище правилам, а також справність посудини та всіх її елементів (акт повинен бути підписаний керівництвом організації, яка проводила відповідні роботи, та керівництвом підприємства – власником посудини), виконавча схема посудини з вказаними джерелами тиску, параметрів його робочого середовища, арматури, контрольно-вимірювальних приладів, засобів автоматичного регулювання, запобіжних та блокуючих пристроїв.

Дозвіл на пуск в роботу випарних апаратів дає особа, яка проводить в відповідності з наказом по підприємству нагляд за посудинами після технічного посвідчення цих апаратів.

При технічному посвідченні перевіряють документацію на посудину, проводять її внутрішній огляд та гідравлічне випробування.

Підприємство – власник посудин зобов'язане проводити внутрішній огляд посудин не рідше ніж через кожні 2 роки, працюючих з середовищем, яке приводить до корозії метала – не рідше одного разу в 8 років. Гідравлічне випробування посудин, не доступних для внутрішнього огляду, проводиться раз на 2 роки.

Для забезпечення безпечної експлуатації посудин (випарних апаратів), працюючих під тиском, наказом по підприємству призначають працівника, який виконуватиме нагляд за справним станом та безпечну експлуатацію він

призначається з числа інженерно-технічних працівників підприємства, які пройшли перевірку знань в відповідному порядку.

Безпосереднє обслуговування посудин поручають особам, які досягли 18-ти річного віку, пройшли виробниче навчання, атестацію в кваліфікаційній комісії та інструктаж по безпечному обслуговуванню посудин.

#### Вимоги пожежної безпеки.

Площа м<sup>2</sup>:

Автоматична пожежна сигналізація (АПС) \_\_ від 100 до 500 або об'єм до 3000 м<sup>3</sup>;

Автоматичні установки пожежогасіння (АУП) \_\_ 500 і більше або об'єм більше 3000 м<sup>3</sup>.

Для попередження можливої пожежі чи вибуху курити в цеху забороняється, дозволяється лише в спеціально відведених для цього місцях. В цеху на видному місці повинен знаходитися ящик з піском.

Вимоги ОП при проведенні ремонтних, та будівельно-монтажних робіт.

Всі роботи ремонтного або монтажного характеру (в тому числі і будівельно-монтажні) в приміщеннях, де розташоване діюче теплове устаткування, можуть проводитися тільки з дозволу начальника цеху або його замісника.

В відповідних випадках роботи виконуються по наряду-допуску. Підлягаючий ремонту апарат, для запобігання попадання пари або гарячої води, повинен бути надійно відключений як зі сторони суміжних трубопроводів та обладнання, так і зі сторони дренажних та обвідних ліній.

Вся відключаюча арматура повинна бути замкнена на ланцюг з замком і на ній повинні вивішуватися плакати «не відкривати, працюють люди». Ключі від замків повинні зберігатися в майстра цеху і передаватися по чергуванню з відповідним записом в оперативному журналі.

З електроприводів засувки повинна бути відключена напруга і вивішений плакат «Не включати, працюють люди».

Забороняється проводити ремонт обладнання без прийняття попереджувальних мір проти включення його в роботу (пуск двигуна, подача пари, води та ін.).

При відсутності пристроїв, дозволяючи звільнити обладнання та трубопроводи які відключаються, попередньо, звільнення їх слід проводити послабленням частини болтів фланцевого з'єднання зі сторони, протилежної місту перебування робітника. Розкриття фланців при цьому слід проводити обережно при обов'язковій присутності відповідального керівника робіт.

При послабленні болтів фланцевих з'єднань необхідно бути обережним, щоб пара та гаряча вода, що знаходяться в середині установки та трубопроводів, не могли причинити опіків робітникам, прямі дренажі повинні бути відкриті для того, щоб в випадку негерметичності запірної арматури пара і гаряча вода не могли накопичитися в відключених установках та примикаючих до них трубопроводах.

Роботи по ремонту установки повинні проводитися під керівництвом майстра, добре знаючого установку, комунікацію трубопроводів, їх арматуру, призначення, правила обслуговування та ремонту.

При недостатній герметичності обладнання повинно бути відділене від діючого за допомогою заглушок. Товщина заглушок повинна відповідати тиску робочого середовища. Для забезпечення швидкого визначення місця встановлення заглушок остання повинні мати добре видимі хвостовики.

По закінченні ремонтних робіт відповідальний керівник та виконавець робіт разом з начальником зміни цеху зобов'язаний особисто впевнитись в тому, що всі роботи дійсно закінчені, заглушки зняті, з ділянки видалений робочий персонал і робоче місце прибрано. Тільки після цього дозволяється зняти замки з вентилів та засувки і подати напругу на електроприводи.

Підтяжку болтів фланцевих з'єднань після ремонту дозволяється проводити при тискові не вище 3 кгс/см<sup>2</sup>.

Включення установки після закінчення ремонтних робіт може бути проведено тільки з дозволу начальника цеху або його замісника.

## Ремонт механізмів, що обертаються

До початку робіт по ремонту елементів підшипників, з'єднувальних муфт та інших частин механізмів (насосів, вентиляторів, електродвигунів та ін.), які виконуються по наряду, допускаючи особа, відповідальний керівник та виконавець робіт зобов'язані особисто перевірити надійність відключення електродвигуна, всіх заслінок, засувок, вентилів та інших з'єднань механізмів, який готується до ремонту, від діючих агрегатів і трубопроводів, а також наявність на відключаючих органах плакатів «Не відкривати, працюють люди», на місці робіт повинен бути вивішений плакат «не вмикати, працюють люди!».

Відключення живлячого проводу та зняття запобіжників проводиться електротехнічним персоналом.

Безпосередньо перед розбиранням насоса слід впевнитися в правильності його відключення від трубопроводів, в повній відсутності тиску, а також в герметичності запірної арматури.

Запірна арматура повинна бути закрита на замок за використанням ланцюгів або тросів. При негерметичності арматури повинні встановлюватися заглушки.

Зняття плакатів і включення електродвигуна може бути проведене тільки після запису в оперативну журналі про кінець робіт та закриття наряду.

Подача напруги на електродвигун до повного закриття наряду допускається по вимозі відповідного керівника робіт для перевірки ремонтуємого обладнання.

Накриття електродвигунів брезентом не допускається. При необхідності захистити працюючий електродвигун його необхідно відгородити щитками, фанерою або закрити дерев'яними чи металічним кожухом.

Всі відкриті рухомі та крутячі частини електродвигунів, насосів та інших механізмів повинні бути надійно захищені з ціллю захисту обслуговуючого та проходячого мимо персоналу. Зняті на час ремонту запобіжні огорожі по закінченні ремонту повинні бути встановлені й закріплені на своїх місцях до подачі напруги на електродвигун.

При виникненні пожежі в електродвигунах слід негайно відключити їх від мережі і залити осередок вогню водою, а при відсутності останньої застосовувати

вуглекислотні вогнегасники. Використання піску для гасіння осередка горіння в електродвигуні забороняється.

### Теплоізоляційні роботи

Для теплообмінних апаратів, працюючих при температурах до 400 С, передбачається зовнішня ізоляція, вона необхідна для зменшення втрати тепла та запобігання термічних уражень обслуговуючого персоналу. Допустима температура поверхні теплоізоляції по умовам техніки безпеки відповідає 45 С.

Теплоізоляційні роботи на гарячих поверхнях повинні виконуватися по наряду.

До початку теплоізоляційних робіт розпорядник разом з відповідальним керівником та виробником робіт повинен провести інструктаж робочих-ізолювальників по ОП, впевнитись в відсутності паріння, течі та інших неполадок обладнання.

Роботи по ізоляції теплопроводів, прокладених на висоті (вище 1м), а також обладнання повинні проводитись з підмосток лісів (ліса та підмостки допускаються до експлуатації тільки після технічного посвідчення та прийомки їх спеціально призначеною комісією), маючих густий настил.

Приймальні площадки лісів та підмосток не повинні перенавантажуватись матеріалами. Складати матеріали на краях отворів лісів та підмосток і вище їх бортових дощок забороняється.

Очищення поверхонь для ізолювання металевими щітками повинно проводитись в захисних окулярах та рукавицях, а при очищенні шляхом правлення кислотою – в захисних окулярах, гумових чоботах і гумових рукавицях.

Роботи з мінеральною, шлаковою та скловатою і виробами з них, а також різка, затісування і очищення цегли та плит повинно проводитись в захисних окулярах, респіраторі та рукавицях з міцної тканини. Рукава спецодягу повинні бути перев'язані. Робота з заковченими рукавами забороняється. Брюки повинні надіватись поверх чобіт (навипуск).

При виконанні теплоізоляційних робіт і використанні дроту кінці дротового каркасу ізоляції та дротових закруток повинні бути загнуті і закриті ізоляційним шаром, залишати кінці дроту не загнутими забороняється.

При розборці старої та нанесенні нової ізоляції забороняється проводити удари по стінкам трубопроводів та обладнанню, роботи по розборці ізоляції повинні проводитись в захисних окулярах. Для попередження виділення пилу ізоляція, що розбирається, повинна зволожуватися. Спуск відходів ізоляції, а також ізоляції що розбирається та сміття з висоти повинно проводитись по жолобам, скидання їх з висоти забороняється.

Виконання теплоізоляційних робіт проти фланцевих з'єднань, арматури, запобіжних клапанів, водомірних склянок, діючих трубопроводів та обладнання без встановлення захисних ширм забороняється. Забороняється також виконання теплоізоляційних робіт на несправному обладнанні та механізмах.

#### Охорона довкілля

Меласна барда складається із 8-12 % сухих речовин і 92-88 % води. Сухі речовини барди складаються із органічних та мінеральних. До органічних речовин відносяться: білки, бетаїн, глютамінова кислота та інші амінокислоти, цукри (глюкоза, фруктоза, арабіноза, рафіноза та ін.), гліцерин, карбонові кислоти (мурав'їна, оцтова, пропинова, гликогелева, молочна, янтарна та ін.). Мінеральні речовини барди представлені солями калія, натрія, кальція, магнія і мікроелементами (кобальт, залізо, мідь, марганець та ін.). Барда вміщує також вітаміни групи В. Досить довгий час барда не використовувалася. Її зазвичай викачували на поля фільтрації для мінералізації. При цьому не тільки не використовувалися цінні складові частини барди, а й створювалися великі труднощі, так як для полів фільтрації необхідна велика площа - на кожні 1000 дал спирту добової потужності заводу необхідно 10 га; земля таких полів пустує, так як на ній нічого не зростає. Крім того, внаслідок розкладу складових частин барди виникають дурно пахнучі речовини, тому поля фільтрації забруднюють повітря неприємним гнійним запахом. Вміст в барді білків, амінокислот, гліцерину, цукрів, вітамінів, мікроелементів та інших речовин дає можливість використовувати її в якості корму



для худоби. Мелясна барда може застосовуватися в якості корму в натуральному та згущеному вигляді. Упарена барда також використовується в виробництві цементу, бетону, добрив, в гідролізній та інших галузях промисловості. Упарюють барду на багатокорпусних випарних установках (2-х, 3-х та 4-х корпусних). На сьогодні на спиртзаводах найчастіше використовуються 4-х корпусні випарні установки, що працюють під розрідженням. Гріюча пара подається тільки в 1-й корпус, а для підігріву барди в наступних корпусах використовується вторинна пара - це дає можливість економити гріючу пару, паливо, воду; дозволяє використовувати вторинну пару для обігріву інших споживачів, що, відповідно, і зменшує витрати як на упарювання барди, так і в кінцевому результаті на собівартість основного продукту - спирту. Комплексне використання відходів спиртових заводів, які переробляють мелясу, дозволяє не тільки значно зменшувати викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище, а і отримувати додаткові прибутки.

## 6.2 Методика розрахунку основного потенційно-небезпечного фактора

Розрахунок теплової ізоляції

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої неізольованої поверхні апарату до повітря ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )

$$\alpha_{i3} = 9,74 + 0,07 \cdot (t_{ct} - t_n) = 9,74 + 0,07 \cdot (125 - 20) = 17,09 \quad (6.1)$$

$t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура навколишнього середовища.

Визначаємо втрати тепла неізольованою стінкою

$$q_1 = \frac{t_{ct} - t_n}{\frac{1}{\alpha_{i3}}} = \frac{125 - 20}{\frac{1}{17,09}} = 1794,45 \quad (6.2)$$

Визначаємо втрати ізольованим апаратом з врахуванням ККД ізоляції ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ )

$$q_2 = (1 - \eta_{i3}) \cdot q_1 = (1 - 0,95) \cdot 1794,45 = 89 \quad (6.3)$$

де  $\eta_{i3} = 0,85$  – ККД совелітової ізоляції

Визначаємо  $\lambda_{i3}$  для совелітової ізоляції:

$$\lambda_{i3} = 0,09 + 0,000087 \cdot t \quad (6.4)$$

де  $t_{i3}$  - середня температура ізоляції( °С)

Визначаємо середню температуру ізоляції ( °С)

$$t_{i3} = \frac{t_{ст} + t_3}{2} = \frac{125 + 36}{2} = 80,5 \quad (6.5)$$

де  $t_3 = 36$  °С – температура зовнішньої поверхні ізоляції

Знайдені величини підставляємо у формулу і обчислюємо

$$\lambda_{i3} = 0,09 + 0,000087 \cdot 80,5 = 0,09$$

Визначаємо необхідну товщину ізоляції

$$\delta_{i3} = \frac{\lambda_{i3}}{q_2} \cdot (t_{ст} - t_3) = \frac{0,09}{89} \cdot (125 - 36) = 0,09 \quad (6.6)$$

Приймаємо шар теплової ізоляції товщиною  $\delta_{i3} = 100$ мм

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра проведений аналіз літературних джерел по питаннях способів утилізації післяспиртової барди та визначений оптимальний варіант її випарювання .

Приведені розрахунки підтверджують доцільність прийнятих технічних і конструкторських рішень, які є результатом напрацювань по темі роботи.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи прийнято рішення спроектувати випарний апарат з двома виносними кип'ятильними камерами. Це дозволяє забезпечити ремонт одного з кип'ятильників апарата, не зупиняючи роботу установки, а також зручність його проведення.

Розподіл ваги апарата по площині дозволив зменшити навантаження на міжповерхове перекриття.

Матеріал (нержавіюча сталь марки 1X18H9T), з якого виготовлений апарат, є найбільш корозійностійким до м'ясної барди, що дозволяє уникнути витрат на відповідні ремонтні роботи.

Технологічними та конструктивними розрахунками підтверджено працездатність апарата (установки).

Теплові потоки розподілені таким чином, що тепло вторинних парів використовується раціонально і економічно. Конденсати первинної та вторинної пари також використовуються для відповідних цілей.

Простота та зручність монтажу, зменшення витрат на обслуговування (перш за все за рахунок впровадження схеми автоматичного контролю та регулювання процесом) і експлуатацію установки є перевагами спроектованого апарата (установки).

Результатом кваліфікаційної роботи є установка для упарювання після спиртової барди (відходу виробництва) для м'ясного спиртового заводу потужністю 5000 дал/добу. т/добу і дає можливість упарювати розчин барди до концентрації 72 % с.р., який має попит на реалізацію.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія. – К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. – 424 с.
2. Технологія спирту /В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, В.М.Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер// Під ред. проф. В.О. Маринченка. – Вінниця: Поділля-2000, 2003. – 496 с.
3. Демчук Г.С., Константинов С.М. Упарювання мелясної барди.- К.,Техніка,1966.-106с.
4. Под ред. Н.В.Стабникова. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств.- Киев., "Вища школа". 1982.
5. Малежик І.Ф. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування-К.,НУХТ,2012.- 543 с.
6. Лазинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л., Машиностроение, 1970.- 752 с.
7. Соколов В.А. Основы автоматизация технологических процессов пищевых производств. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. - 397
8. Основи охорони праці / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець та ін.// К.: Основа, 2000. – 416 с.
9. Фарамазов В.Н. Ремонт и монтаж химического и нефте-перерабатывающего оборудования: -М.: Химия, 1985.-246с.
10. Методика расчета выпарной установки. Копия главы 4 из книги "Основы процессов и аппаратов химической технологии," (Под ред. Ю.И.Дыгнерского, 2-е изд., перераб. и дополн.-Москва., Химия. 1991.)-Сумы., СумГУ. 2002.
11. Циганков П.С. Монтаж і експлуатація браго ректифікаційних установок.- Київ: Техніка,1970.-с.205