

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Факультет Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Освітня програма Системний інжиніринг промислових виробництв



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Розробка низькотемпературного концентратора для фітопрепаратів.

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Михайлов А.О.

(прізвище, ініціали)

2 курсу СІ-20МН групи

Керівник доц. Мординський В.П.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: доц. Всеволодов О.М

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 20__ р., протокол № ____.

Завідувач(ка) кафедри ПОтаЕМ Олег Бурдо
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра	Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	133 «Галузеве машинобудування»
Освітня програма	Системний інжиніринг промислових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ "

" _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Михайлов Анатолій Олегович

1. Тема проекту (роботи) «Розробка низькотемпературного концентратора для фітопрепаратів.»

Затверджені наказом ОНТУ від "25.10.22" № 749-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 10.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): продуктивність 10 кг/год.

Початкова концентрація соєвого екстракту $a=15\%$,

кінцева концентрація соєвого екстракту $b=25\%$

4. Переліки питань, які потрібно розробити):

Анотація; вступ; опис технологічної лінії, опис процесу виморожування огляд існуючого обладнання; патентний пошук; опис конструкції машини;

вимоги до сировини технологічний розрахунок; силовий розрахунок; охорона праці та правила експлуатації машини; вибір додаткового обладнання,

список літератури.

5.Перелік графічного матеріалу

(з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
БЖД	Всеволодов О.М, доц. каф. ПОтаЕМ	3.04.2024	

7. Дата видачі завдання _____
 Керівник _____ Мординський В.П.
 Завдання прийняв до виконання _____ Михайлов А.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ та анотація до проекту	18.02.2024.	
	Опис технологічного процесу, Вимоги до сировини	25.02.2024	
	Способи реалізації технологічного процесу і машинне оформлення	03.03.2024	
	Огляд існуючого обладнання; патентний пошук	14.03.2024	
	Технічний проект; технологічний розрахунок	14.04.2024	
	Експериментальне дослідження	20.04.2024	
	Охорона праці та правила експлуатації машини; цивільний захист	25.04.2024	
	Список літератури; додатки	1.05.2024	
	Оформлення проекту та отримання рецензії.	до 10.06.2024.	

Здобувач-дипломник _____ Михайлов А.О.

Керівник роботи _____ Мординський В.П.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ ПІБ Підпис

ЗМІСТ:

Анотація	5
1. ВСТУП	6
Розділ 1 Опис технологічного процесу отримання фітопрепаратів	7
Розділ 2. Вимоги до сировини	20
Розділ 3. Огляд існуючого обладнання, патентний пошук	24
3.1 Устаткування для отримання питної води виморожуванням	24
3.1.1. Кристалізатори.	24
3.1.2. Сепаратори льоду та розчину.	31
3.1.3. Метод блочного виморожування	34
3.2. Фізичні основи поділу виморожуванням	37
3.3. Патентний пошук	40
Розділ 4. Технологічний розрахунок концентратора методом блочного виморожування.	46
4.1. Матеріальний баланс.	46
4.2. Визначення поверхні кристалізаторів	47
4.2.1 Тепловий баланс.	47
4.3 Розрахунок на міцність	53
4.3.1 Розрахунок апаратів що знаходяться під дією внутрішнього тиску	53
4.3.2 Розрахунок плоских днищ апаратів.	59
4.4.1 Визначення товщини стінок кристалізатора, що працює при внутрішньому тиску	61
4.4.2. Розрахунок зварного з'єднання точковою зваркою	63
Розділ 5 Вибір компонентів системи захисту та керування холодильною машиною.	65
Розділ 6. Експериментальне дослідження процесу низькотемпературного концентрування	68
6.1 Опис експериментального стенду	68
6.2 Прилади, що використовувалися під час дослідження.	69
6.3 Методика проведення експерименту.	73
Розділ 7. Інструкція з охорони праці під час роботи блочного концентратора	76
Висновки.	80
Список літератури	81

Анотація

Актуальність роботи. Фітопрепаратам властивий широкий спектр фармакологічної дії. Активні речовини женьшеню, елеутерококу, лимоннику діють на нервову і серцево-судинну системи, функцію ендокринних залоз. До того ж, лікарські рослини є сировиною для одержання нових препаратів. Наприклад, багаторічна трав'яниста рослина діоскорія містить біологічно активну речовину — стероїдний сапонін діосцин, який використовують для синтезу гормонів кори надниркової залози та їх аналогів, а також статевих гормональних препаратів.

Фітопрепарати можна комбінувати із синтетичними медикаментами для посилення терапевтичної дії і зменшення побічних ефектів синтетичних засобів. Наприклад, широко відомий препарат барбовал застосовують у медичній практиці понад 30 років. До його складу входить валідол, етиловий спирт альфа-бромізовалеріанової кислоти, фенобарбітал.

Мета досліджень – розробити установку для блочного виморожування фітопрепаратів.

Кваліфікаційна робота викладена на 81 сторінках і складається з вступу, сімох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг роботи - 81 сторінки, включаючи 14 рисунків, 2 таблиць, список літературних джерел з 11 найменувань (на 1 сторінці).

Ключові слова: *фітопрепарат, концентрування, виморожування енергетична ефективність.*

1. ВСТУП

Сучасна наука підтвердила лікувальні властивості багатьох рослин. До арсеналу лікарських рослин все частіше звертаються лікарі стоматологи. Широко використовуються для лікування захворювань слизової оболонки порожнини рота та хвороб пародонта лікарські засоби, виготовлені з таких рослин, як календула, чистотіл, арніка гірська, евкаліпт, шалфей, перстач, каланхое, обліпиха, звіробій, ромашка, подорожник та багато інших. Фітопрепарати традиційно використовують для прискорення процесу загоєння після хірургічного втручання та місцевого лікування захворювань слизової оболонки порожнини рота та хвороб пародонта. У стоматологічній практиці для лікування запальних процесів слизової оболонки порожнини рота, язика і пародонта широко використовують лікарські рослини, що володіють в'язучими властивостями. В'язучі речовини, стикаючись із слизовою оболонкою, проникають у міжклітинний простір, у клітини різних тканин і судин, осаджують білки ферментів, що беруть участь у розвитку місцевої запальної реакції, утворюють щільну плівку альбумінатів, а плівки захищають прилягаючі тканини від зовнішніх подразників, зменшуючи больову чутливість.

Дуже корисним є застосування лікарських засобів, таких, як: рідкий екстракт, відвар кореневищ або настої з лікарських трав, особливо при запальних та запально-дистрофічних хворобах пародонта, а також при стоматитах. Рекомендуються також інші рослини для лікування стоматиту як гострого, так і хронічного, такі, як: настій або відвар суцвіть ромашки лікарської, відвар коренів сиверсії гірської, настій листків або квіток терену звичайного, настій трави хвоща польового, препарати хрону звичайного, відвар коренів щавлю кінського, свіжий сік шовковиці білої або чорної (пити по 200 г 4 рази на день і полокання порожнини рота соком, розбавленим наполовину водою).

Розділ 1

ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ФІТОПРЕПАРАТІВ.

Фітопрепарат — лікарський засіб рослинного походження у певній лікарській формі.

Згідно з Державною Фармакопеею України, існує велике різноманіття лікарських форм фітозасобів: ціла рослинна сировина, різана рослинна сировина, стовчена рослинна сировина, здрібнена на порошок рослинна сировина, ексудат, збір, брикет, чай, екстракт, настойка, ефірна олія, жирна олія, віджятий сік, оброблений сік рослин, слиз, смола [1].

Галеновий препарат — лікарський засіб рослинного походження у формі настоянки або екстракту.

Новогаленові препарати — максимально очищені від баластних речовин витяги із лікарської рослинної сировини, що містять увесь комплекс біологічно активних речовин.

Настоянки — спиртові або водно-спиртові витяги з лікарської рослинної сировини, отримані різними способами настоювання сировини з розчинниками без нагрівання й видалення розчинника.

Екстракти — концентровані витяги з лікарської рослинної сировини. Розрізняють рідкі, густі, сухі екстракти. Розчинниками можуть бути вода, спирт різної концентрації, ефір, жирні олії.

Збори — суміш декількох видів подрібненої (рідше цілої) лікарської рослинної сировини, іноді з домішкою мінеральних солей, ефірної олії та ін. У домашніх умовах зі зборів готують настої та відвари.

Настої та відвари — водні витяги з лікарської рослинної сировини. Зазвичай із квіток, листків і трави виготовляють настої (настоюють на киплячій «водяній бані» 15 хв). Зі шкірястих листків, кори, плодів, насіння і підземних органів готують відвари на киплячій «водяній бані» 30 хв.

Слід зазначити, що досить нескладною, на перший погляд, є технологія приготування в домашніх умовах ряду лікарських форм фітозасобів (чаїв, настоїв, відварів) і лікувальних процедур (ванн, примочок, компресів, інгаляцій). Проте інколи незначні відхилення від технології застосування лікарської рослинної сировини, зокрема, розведення чи приготування водного розчину або відвару, можуть мати несприятливі наслідки. Наприклад, загальноприйнятим співвідношенням води та лікарської рослинної сировини вважається таке: 1 столова (ст.) ложка (л.) лікарської рослинної сировини на 1 склянку води. Мова йде саме про 1 ст. л., а не, наприклад, 1 ст. л. «з гіркою». Також необхідно враховувати, що розмір столової ложки може варіювати (15 мл у США, 18 мл — в країнах Європи, 20 мл — в Австралії), тобто зрозуміло, що точність дозування лікарської рослинної сировини відсутня.

Слід пам'ятати, що тривале навіть незначне, на перший погляд, щоденне передозування може призвести до накопичення біологічно активних речовин в організмі та прояву побічних ефектів: диспепсії, головного болю, набряків тощо.

Наприклад, симптоми отруєння атропіном — алкалоїдом, що міститься в беладоні, блекоті, дурмані, можуть проявлятися психічним (марення, галюцинації) і моторним збудженням, почервонінням і сухістю шкіри, спрагою, захриплістю голосу, підвищенням температури тіла, розладами ковтання, мовлення, розширенням зіниць, світлобоязню, тахікардією.

Побічні ефекти, що відмічають при передозуванні серцевими глікозидами, характерні для гострого й хронічного отруєння. Найчастіше виявляють такі симптоми: шлунково-кишкові (диспепсія, нудота, порушення апетиту аж до анорексії); кардіологічні (порушення ритму серця й провідності — брадикардія, політопна екстрасистоля, бігеменія, тригеменія, часткова або повна передсердно-шлуночкова блокада); неврологічні (головний біль, стомлюваність, занепокоєння, порушення зору, у тому числі колірного, галюцинації); рідше —

порушення водного балансу (зниження діурезу, збільшення маси тіла), гінекомастію, тромбоцитопенію.

Ліки, що містять алкалоїди барвінку рожевого (*Cataranthus roseus*), можуть викликати лейкопенію, анемію, тромбоцитопенію, симптоми нейроінтоксикації та ін.

Слід зважати також на особливості дозування для різних вікових груп, що є обов'язковим правилом ефективного та безпечного лікування. Для кожного лікарського засобу в тій чи іншій ЛФ існують свої способи дозування, які необхідно знати та чітко дотримуватися.

Випробувані часом і емпіричним досвідом рослинні препарати набувають нових якостей завдяки розвитку фітофармації та сучасної фармацевтичної індустрії. Еволюція фітозасобів торкнулася, по-перше, їх лікарська форма, по-друге — стандартизації кількісного вмісту діючих речовин (саме біологічно активних речовин) у ліках. Традиційно продовжують застосовуватися лікарські рослини у формі зборів, галенових або гомеопатичних препаратів, але значний сегмент фармацевтичного ринку займають стандартизовані фітопрепарати в різних ЛФ.

Якість фітозасобів.

Найважливішим фактором, що визначає фактичну якість готових лікарських засобів рослинного походження, вважають якість лікарської рослинної сировини. Відповідно до міжнародних принципів процес стандартизації лікарської рослинної сировини стосується 3 основних фармакопейних дефініцій та має відповідати на основні питання щодо ідентичності, чистоти та вмісту.

Стандартизація лікарської рослинної сировини — це кількісне визначення в лікарському засобі активної речовини, яка безпосередньо зумовлює прояв фармакологічних ефектів.

Стандартизація лікарської рослинної сировини дозволяє створювати фітопрепарати з дозованим вмістом біологічно активних речовин, що гарантує

безпеку та ефективність лікування рослинними препаратами. Необхідність стандартизації зумовлюється низкою чинників природного характеру, адже доведено, що кількісний склад діючих речовин у сировині лікарських рослин не є постійним. Він значно змінюється залежно від сорту та підвидів, фази розвитку рослин, метеорологічних умов, вегетаційного періоду, ґрунтово-кліматичних умов та особливостей проходження біохімічних реакцій у процесі синтезу фармакологічно активних сполук. Тому лікарські рослини, які зібрані в дикій природі, не можуть слугувати джерелом фітохімічно гомогенної лікарської рослинної сировини для виробництва ліків з дозованим вмістом ключових біологічно активних речовин, що зумовлюють фармакологічні ефекти. На жаль, у наш час більшу частину лікарської рослинної сировини для потреб фармацевтичної промисловості збирають саме в дикій природі.

Недостатньо вірогідної інформації й щодо ферментативних процесів, що мають місце виключно при заготівлі лікарської рослинної маси, її зберіганні та переробці. На етапі технологічної обробки деякі з біологічно активних речовин дуже важко екстрагувати з лікарських рослин у чистому вигляді, а дія інших комбінується з дією ще невідомого та недослідженого компонента. Така ситуація заважає іноді дати фармакологічну оцінку та скласти вірогідні рекомендації щодо обґрунтованого застосування рослинного лікарського засобу.

Це має особливе значення ще й тому, що вивчення багатьох аспектів фітотерапії пов'язане, перш за все, з фармакологічною дією конкретних органічних сполук, що містяться в рослинній масі лікарських рослин та мають бути екстраговані для виготовлення необхідних ліків.

Необхідно мати впевненість у наявності в лікарських рослинних сировин таких сполук, адже від цього залежить не тільки ефект фітотерапії, але й загальна характеристика конкретної лікарської рослини.

Нині у багатьох країнах світу відзначають значне зростання промислового виробництва моно- та полікомпонентних ліків із лікарської рослинної сировини і, що особливо важливо, — на досить високому технологічному рівні. Подібні

лікарські засоби вирізняються стабільністю свого хімічного складу протягом рекомендованого виробником/розробником терміну зберігання і зручністю використання.

Відмінність моно- і полікомпонентних рослинних ліків очевидна. Адже максимального ефекту можна досягти шляхом поєднання більшої кількості біологічно активних речовин різних лікарських рослин, які в цьому випадку забезпечують фармакодинамічний синергізм і не у вигляді простої сумачії ефектів або адитивної взаємодії, а як потенціювання (значного підсилення) ефекту. Це дозволяє не тільки отримати кращий терапевтичний ефект, але й уникнути поліпрагмазії.

Широке застосування нових технологій у фітофармації та поява лікарських засобів рослинного походження, ефективність і безпека яких науково обґрунтовані, стало потужним поштовхом для нового етапу в розвитку фітотерапії. Водночас наповнення світового фармацевтичного ринку новими фітопрепаратами неминуче породжує проблему вибору «правильного лікарського препарату», ефективність і безпека якого забезпечуватимуть прогнозований терапевтичний ефект. Таким орієнтиром є низка фармацевтичних критеріїв, за якими оцінюється відповідність рослинного препарату сучасним вимогам.

Так, одним із критеріїв є якість вихідної лікарської рослинної сировини, з якої отримується фітопрепарат. Рослинне походження сировини для виготовлення лікарського засобу — ще не доказ його достатньої безпеки для пацієнта. Якість лікарської рослинної сировини визначається (в основному, але не тільки!) умовами та ареалом зростання (вирощування). Крім цього, лікарська рослинна сировина, яка вирощена в екологічно несприятливій місцевості, може бути забруднена такими токсичними для людини поллютантами, як пестициди, солі важких металів, радіонукліди.

Також важливим є дотримання стандартизації лікарської рослинної сировини на всіх етапах створення фітопрепарату — від вирощування

до отримання кінцевого продукту, контроль якості продукції на всіх етапах її виробництва.

Таким чином, звичайному споживачеві в побуті, на жаль, не завжди вдається чітко дотримуватися вимог зберігання лікарської рослинної сировини, технології приготування та дозування, визначитися з оптимальними термінами лікування, врахувати можливі взаємодії (при комбінації лікарської рослинної сировини або з лікарським засобом синтетичного походження) тощо. Тому краще надавати перевагу рослинним препаратам, які виготовлені на фармацевтичних підприємствах в умовах дотримання вимог Належної виробничої практики — частини системи забезпечення якості, яка гарантує, що продукція виробляється і контролюється за стандартами якості.

Клініко-фармакологічні особливості сучасних фітозасобів

Погляди світової медичної громадськості сьогодні звернені до рослинних ліків з підтвердженою і доведеною дією. Вкрай важливим є дотримання принципів наукової доказовості щодо ефективності і безпеки лікарських засобів: проведення масштабних клінічних та доклінічних досліджень належного дизайну, що дозволяють отримати статистично достовірні порівняльні.

Відповідність усім зазначеним принципам дає можливість отримувати сучасні фітопрепарати, які не тільки не поступаються синтетичним представникам відповідної групи, а навіть перевершують їх за співвідношенням клінічного ефекту і ризику розвитку побічних ефектів.

З 30 квітня 2011 р. у країнах ЄС почала діяти Директива з традиційних лікарських засобів рослинного походження (Директива 2004/24/ЕС). Відповідно до цього нормативного документа виробництво рослинних лікарських засобів має здійснюватися за правилами GMP для забезпечення якості готової продукції, а також бути безпечною при застосуванні. Компанія (виробник рослинних препаратів), що реєструє рослинний лікарський засіб на фармацевтичному ринку,

має продемонструвати, що фітотерапевтичний засіб використовували у ЄС щонайменше 30 років або 15 років в ЄС і 30 років за його межами.

Із клініко-фармакологічних аспектів слід зважати на те, що одночасне застосування лікарської рослинної сировини та препаратів синтетичного походження може бути потенційно небезпечним.

Не слід забувати й про те, що лікування має бути індивідуальним. Адже всі ми різні за генетикою, своїми антропометричними даними (маса тіла, зріст тощо), віком, статтю, особливостями обміну речовин тощо. Також необхідно брати до уваги супутні захворювання, у тому числі хронічні.

З урахуванням викладеного раніше (різні частини рослин, лікарської форми, технологія виробництва та ін.) стає зрозумілим, що не всі ліки рослинного походження є однаковими за ефективністю та безпекою, ключовими показниками раціональної фармакотерапії. Серед рослинних препаратів не може бути генериків! Однаковий склад та лікарська форма (фармацевтична еквівалентність) рослинних лікарських засобів не забезпечують однакового результату їх застосування (фармакодинамічну еквівалентність).

У березні 2019 р. оприлюднено Рекомендації Німецького респіраторного товариства з діагностики та лікування дорослих, які страждають від гострого, підгострого та хронічного кашлю. У чинних рекомендаціях акцентовано увагу та чітко виокремлено наступне: «...вміст активної речовини, а отже ефективність, залежить від багатьох факторів: походження використовуваних рослин, методу екстракції, стандартизації і виробничого процесу. Тому різні екстракти одних і тих самих ботанічних видів лікарських рослин не є взаємозамінними. Результати досліджень із застосуванням рослинних ліків є справедливими лише для продукту, що тестується. Вони не можуть екстраполюватися на інші екстракти з цього ботанічного виду».

Схему виготовлення фітопрепаратів представлено на рис 1.1. [2]

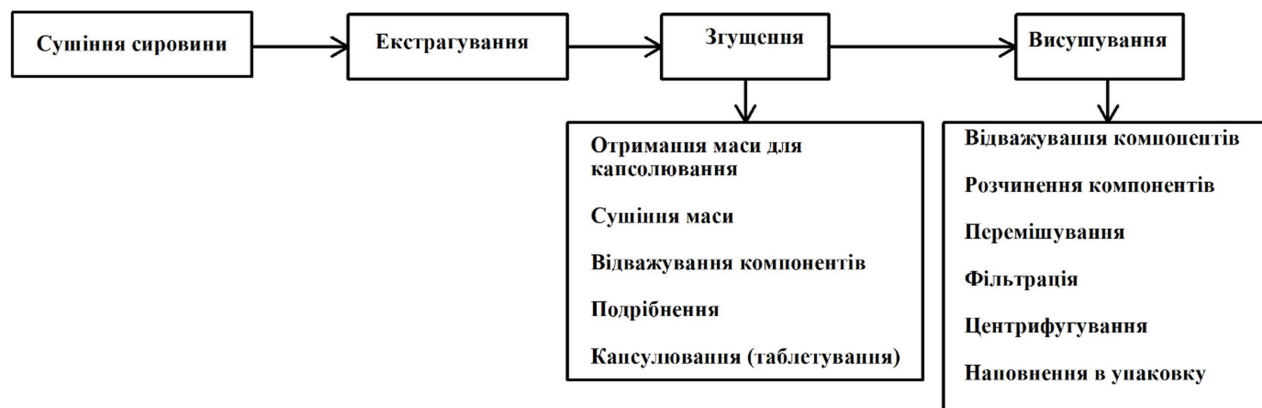


Рис 1.1. Схема виготовлення фітопрепаратів.

Сушіння. Сушіння сировини — це одна з найважливіших операцій, яка забезпечує якість сировини. Завдання правильного сушіння полягає в тому, щоб якомога швидше припинити руйнівну дію ферментів або зменшити її до мінімуму. Сушіння рослин — це своєрідний метод їх консервування шляхом оптимального зневоднення. Дієвість ферментів перебуває в тісному зв'язку з динамікою водного дефіциту. Чим нижча температура сушіння і повільніше віддається клітинна волога, тим активніші ензиматичні процеси. І навпаки, при повільному відмиранні клітин з біологічно активними речовинами можуть відбуватися двоякі явища. В одних випадках спостерігається руйнування діючих речовин; у цьому відношенні нестійкими є глікозиди (особливо серцевої групи), алкалоїди, які в своїй молекулі мають складносферні угруповання, та деякі інші сполуки. В інших випадках вони накопичуються, наприклад, у деяких ефіроолійних рослин і рослин, що схильні утворювати біогенні стимулятори.

Більшість видів сировини сушать при температурі 50 — 60°C. Сировина, багата на аскорбінову кислоту, потребує швидкого сушіння при 80 — 90°C, бо при повільному сушінні вітамін руйнується. Ефіроолійну сировину сушать повільно при температурі 25- 30°C.

Для кожного виду або групи сировини є свої оптимальні умови сушіння, встановлені експериментально. Враховуючи морфолого-анатомічну структуру

сировини. Її хімічний склад, ступінь стабільності діючих речовин, вибирають той чи інший спосіб сушіння.

Застосовують натуральні (сонячний, тіньовий) і штучні (тепловий) методи сушіння.

Сонячне сушіння. На сонці сушать кору, корені, насіння, деякі ягоди або пров'ялюють корені, плоди шипшини, ягоди чорниці перед завантаженням у теплові сушарні, що значно прискорює сушіння і зберігає ягоди від грудкуватості.

Трави, листя, квітки не можна сушити на сонці, бо пряме сонячне проміння руйнує хлорофіл у зелених частинах рослин і суше листя та трави жовтіють. Красильні речовини квіток руйнуються, вони вигоряють і блякнуть. Сировина стає непридатною до вживання.

Тіньове повітряне сушіння. Тіньовому сушінню піддають зелені частини рослин; при цьому добре зберігається природний колір стебел, листків і квіток.

Сировину розкладають на сітках тонким шаром і обережно ворують.

Перша і обов'язкова умова якісного сушіння в закритих приміщеннях — це постійна і швидка заміна вологого повітря свіжим, тобто потрібне добре вентилявання приміщення.

Сушіння штучним обігріванням (теплове сушіння). Теплове сушіння має ряд переваг перед повітряним. У спеціальних сушарнях регулюють температуру відповідно до особливостей кожного виду сировини; процес висушування відбувається значно швидше, ніж при повітряному сушінні.

Лікарську рослинну сировину висушують до “повітряно-сухого стану”. Залежно від виду сировини залишкова вологість коливається в межах 10—14%. Для ягід, багатих на вуглеводи, вона може бути більшою (для чорниці — 17%, для ялівцю — до 20%).

Сушу сировину перевіряють на злам: якщо корені, кора, стебла трави не гнуться, а з тріском ламаються, сушіння закінчують.

Екстрагування [3] Метод мацерації або настоювання, раніше був дуже поширений. Зараз мацерація в її «класичному» варіанті не відповідає вимогам інтенсифікації виробництва і використовується лише в окремих випадках. Подрібнену сировину з розрахованою кількістю екстрагента завантажують у мацераційний бак і настоюють при температурі 15-20 °С, періодично перемішуючи. Якщо спеціально не обумовлені терміни, то настоювання проводять 7 діб. Після настоювання витяжку зливають, залишок віджимають. Відпрацьовану сировину (шрот) промивають невеликою кількістю екстрагента, знову віджимають і додають витяжку — до тієї, що злита раніше, після чого всю витяжку відстоюють і доводять екстрагентом до необхідного об'єму.

Суть методу **протитечійного екстрагування** полягає у ступінчатому просуванні чистого екстрагента від більш виснаженої сировини до менш виснаженої. Найбільш виснажений рослинний матеріал екстрагують чистим екстрагентом, а концентровану витяжку збирають з екстрактора зі шойно завантаженої сировини.

Циркуляційне екстрагування – метод ґрунтується на багатократному екстрагуванні лікарської рослинної сировини однією й тією ж порцією легколеткого екстрагента. Екстракційна установка працює в замкнутому циклі безперервно і автоматично, за принципом апарата Сокслета. Вона складається із комуніційованих між собою перегінного куба, екстрактора, холодильника-конденсатора, збірника конденсату. Цей метод характеризується високим виходом біологічно активних речовин і максимальним виснаженням сировини, використанням невеликої кількості екстрагента, створенням високої різниці концентрацій на межі розділення фаз (оскільки на сировину щоразу подається чистий екстрагент) і скороченням загальної тривалості екстрагування. До недоліків методу слід віднести тривалий температурний вплив на екстрактивні речовини і значні витрати теплоносія.

Випарювання відноситься до числа розповсюджених технологічних процесів у фармацевтичному виробництві, що використовується для згущення

водних і спиртових витяжок при одержанні густих і сухих екстрактів, індивідуальних і сумарних екстракційних препаратів з рослинної, тваринної та мікробіологічної сировини.

При випарюванні відбувається зменшення кількості леткого розчинника й підвищення концентрації нелетких речовин. У більшості випадків цей процес проводять при інтенсивному підведенні тепла, для забезпечення кипіння рідини й утворення парів розчинника. Пара, що утворюється над киплячою рідиною, називається вторинною (вода, етанол і ін.).

Залежно від властивостей рідин, що випарюються (мало концентровані, рухливі або в'язкі, наявність термолабільних біологічно активних речовин та ін.), а також від параметрів гріючої пари, випарювання здійснюють при нормальному тиску або під вакуумом у робочій камері апарата (випарника).

З метою збереження діючих речовин випарювання з кипінням рідини здійснюють в установках, у яких вторинна пара, що утворюється над рідиною, постійно видаляється з робочої частини апарата (випарника), що створює розрідження (вакуум) і знижену температуру кипіння (40-55 °С).

Проведення процесу випарювання під вакуумом має істотні переваги: знижується температура кипіння розчину, уловлюється цінна вторинна пара, для нагрівання випарного апарата можна використати пару низького тиску. Внаслідок зниження точки кипіння рідини збільшується середня різниця температур між гріючою парою і рідиною, що обігрівається, а це призводить до зменшення необхідних розмірів випарного апарата.

Сушіння являє собою процес видалення вологи шляхом її випаровування із твердих, пастоподібних матеріалів, а також із суспензій, емульсій і розчинів.

У фармацевтичному виробництві сушіння здійснюється двома основними способами: нагріванням вологих матеріалів теплоносієм через непроникну стінку, що проводить тепло, тобто контактне сушіння; шляхом безпосереднього зіткнення вологих матеріалів з гарячим газовим теплоносієм (повітрям), тобто конвективне або повітряне сушіння.

Іноді сушіння здійснюють шляхом підведення тепла до матеріалу струмами високої частоти (електричне), інфрачервоними променями (радіаційне), сублімацією при глибокому вакуумі (сублімаційне). У фармацевтичному виробництві його часто поєднують з іншими технологічними процесами, наприклад, із грануляцією, подрібнюванням. Впроваджуються інноваційні засоби, що дозволяють інтенсифікувати процес (розпилення, псевдозрідження й ін.) і здійснювати його безупинно, швидко, в оптимальному температурному режимі.

Так, сублімаційне сушіння основане на видаленні вологи із замороженого матеріалу шляхом переведення її безпосередньо із твердої фази в парову, минаючи рідкий стан, при цьому основна частина вологи видалається при температурі 0 °С, інша - при температурі 30-40 °С. і надлишковому тиску 5—330 Па.

При розпилювальному сушінні суспензії, розчини й витяги розпо-рошуються в потоці гарячого повітря (150-250 °С) за допомогою дисків і форсунок, які швидко обертаються, що забезпечує інтенсивний процес сушіння завдяки великій питомій поверхні розпилення рідини.

Одна ця схема з точки зору енергетичної ефективності не є раціональна оскільки питомі витрати енергії на випаровування є досить такі значні і складають приблизно 2,5 МДж на 1 кілограм видаленої води.

Тому пропонується нова технологічна схема з попереднім згущенням сировини методом блочного виморожування, яка зображена на рис. 1.2.



Рис 1.2. Перспективна схема переробки фітопрепаратів.

Переваги цього способу то тім що питомі витрати енергії на замороження у декілька раз нижче ніж питомі витрати енергії на випаровування. Таким чином це може привести до зниження собівартості продукції за рахунок зменшення енергетичних затрат при виробництві фітопрепаратів.

РОЗДІЛ 2

ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ

Збирають лікарську рослинну сировину різних морфологічних груп тоді, коли в ній накопичується найбільша кількість діючих речовин, що відповідає певній фазі розвитку рослини, і за відповідних погодних умов. Дослідженнями рослин в онтогенезі встановлено оптимальні терміни збирання сировини.

Всі надземні частини слід збирати тільки в суху погоду, коли рослини обсохнуть від роси. Підземні органи можна викопувати й у вологу погоду, бо їх все одно доводиться мити перед сушінням.

Збирання сировини треба проводити дуже старанно, уникаючи потрапляння в зібраний матеріал різних сторонніх домішок та інших частин тієї самої рослини, і з урахуванням раціонального її використання. Не слід збирати запилені або забруднені рослини, пошкоджені комахами чи грибковими захворюваннями.

Збираючи отруйні лікарські рослини (беладона звичайна, дурман звичайний, чемериця (різні види) та ін.), необхідно дотримуватись запобіжних заходів: не торкатися немитими руками обличчя, очей; закінчивши збирання отруйних рослин, старанно вимити руки з милом.

На якість лікарської сировини впливають антропогенні чинники. У лікарські рослини можуть потрапити токсиканти — газоподібні викиди, пил промислових підприємств і токсиканти із забрудненого ґрунту. Найбільшою небезпекою для організму людини є декілька груп ксенобіотиків (чужі організмові речовини): важкі метали, пестициди, нітрити, нітрати, нітрозаміни, група канцерогенних сполук (головним чином поліциклічні ароматичні вуглеводні), радіонукліди, миш'як. Тому при виборі районів і місць для заготівлі рослинної сировини необхідно враховувати екологічний стан довкілля.

Бруньки збирають рано навесні, коли вони набухли, але ще не почали розвиватися, тобто коли покриваючі їх лусочки ще не почали розходитися. Соснові бруньки зрізують у вигляді “коронки”, які складаються з 5 - 6 бруньок;

бруньки берези збирають при заготівлі віників — гілки зв'язують у пучки й сушать, після чого бруньки обривають або обмолочують і очищають від гілок, залишків кори та сміття.

Кора. Кору збирають також навесні, в період сокоруху — тоді вона добре відокремлюється від деревини. На корі молодих стовбурів та гілок дерев і кущів, призначених для розчистки лісу або вирубки, роблять два кільцевих надрізи на відстані 20 – 30 см, які з'єднують одним поздовжнім надрізом. Після цього кору відшаровують.

Для медичних потреб кору збирають лише з молодих гілок, коли вона не перевищує певної товщини; кора старих гілок і стовбурів вкрита товстим кірковим шаром мертвої тканини, яка не містить діючих речовин.

Збирають кору в мішки, укладаючи не дуже щільно, і стежать, щоб жолобоподібні шматки не потрапляли один в один. бо під час сушіння вони можуть потемніти й зіпсуватися.

Листя заготовляють перед початком або під час цвітіння рослин. Виняток становлять рано квітучі рослини, наприклад, мати- й-мачуха. а також ті. листки яких у період цвітіння дуже дрібні, недорозвинуті й не відповідають вимогам нормативно-анатітичної документації (НАД). Листки обривають вручну на пні, залишивши на рослині частину листя, щоб не порушувати її розвитку; або рослину скошують, а після сушіння відокремлюють листя (наприклад. кропива).

Квітки збирають під час цвітіння. У деяких рослин збирають лише окремі частини квітки: у дивини — тільки віночок, у волошки — крайові лійкоподібні квітки: в інших — цілі суцвіття, наприклад, в арніки, хамоміли. цмину тощо. Квітки збирають вручну. обриваючи їх здебільшого без квітконіжок. Іноді дія збирання квіткових кошиків користуються спеціальними гребенями. Збираючи квітки з деревинних порід (липа), користуються садовими ножицями або ножами і гачком для пригинання гілок.

Квітки — най ніжніші частини рослин, їх складають пухко, намагаючись не зім'яти, а доставляючи до місця сушіння, захищають від сонця.

Трави заготовляють у період цвітіння рослин. Виняток становить трава череди, яку збирають у фазі бутонізації. З деяких трав зрізують самі квітучі верхівки завдовжки 15 — 20 см або обламують вручну бокові квітучі стебла (патин, собача кропива, звіробій та ін.). У чебрецю плазкого і звичайного скошують всю надземну частину, висушують, а потім обмолочують і відокремлюють здерев'янілі стебла.

Плоди. Сухі плоди і насіння збирають достиглими. У рослин родини селерових такі плоди дуже швидко обсипаються і, щоб уникнути втрат, їх збирають до повної стиглості. Рослини скошують машинами і залишають у валках для просушування і достигання плодів: потім обмолочують і плоди відсіюють.

Ягоди збирають у суху ясну погоду.

Підземні органи (корені, кореневища, бульби, цибулини) викопують восени, коли всі надземні частини вже почнуть відмирати, або напровесні, до того, як підземні частини почнуть розвиватися. На плантаціях корені й кореневища викопують плугом. Кореневища аїру, глечиків та інших рослин, що ростуть у воді, заготовляють після спаду води.

Виконані корені та кореневища обережно обтрушують від землі і миють у холодній проточній воді (виняток — корені алтеї, солодки тощо). Вимиту сировину розкладають на підстилках або чистій траві, щоб вони підсохли від зовнішньої вологи. Після чого доставляють до місця сушіння.

Збираючи лікарську сировину, необхідно дбати про збереження заростей дикорослих рослин і уникати хижацьких способів збирання, які можуть призвести до повного зникнення деяких видів у даній місцевості. Наприклад, якщо збирати дикорослу валеріану до її обсіменіння, то вона потім не відновлюватиметься. Не можна збирати колоски лікоподію, вириваючи разом із гілками всю рослину, бо вежа дуже повільно відновлюється.

Щоб зберегти природні зарості, треба в місцях збирання сировини залишати частину заростей у вигляді насінників і дотримувати правил збирання окремих видів лікарських рослин.

Первинна обробка сировини. Перед сушінням сировина підлягає первинній обробці. При цьому відкидають сторонні рослини або непотрібні частини тієї ж самої рослини (скажімо, стебла в листовому товарі, листки у квітковому і довгі квітконіжки або черешки листків, дерев'яністі стебла тощо). а також пошкоджену комахами та грибками сировину. Часто товсті корені й кореневища розщеплюють, іноді очищають від кори. Період між збиранням сировини і розкладанням її для сушіння не повинен перевищувати 1 - 2 год.

РОЗДІЛ 3

ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ, ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

3.1 Устаткування для отримання харчових концентратів виморожуванням

3.1.1. Кристалізатори.

При концентруванні рідких харчових продуктів застосовують, в основному, апарати з відведенням теплоти кристалізації через охолоджувану поверхню, на якій утворюється тверда фаза [4].

Слід зазначити, що специфіка роботи кристалізатора концентруючої установки полягає в перетворенні на кригу тільки частини води, що міститься в концентрованому продукті. При цьому для нормальної експлуатації кріоконцентруючої установки, необхідно, щоб в апараті забезпечувався режим роботи без захоплення внутрішньою структурою льоду цільових компонентів продукту. Для скорочення витрат на поділ льоду та концентрату, одержувані в апараті кристали мають бути досить великими та з малою дисперсією за розміром.

У холодильній техніці з кристалізаторів безпосереднього охолодження киплячим холодильним агентом найбільш поширені льодогенератори барабанного типу, в яких крига утворюється на поверхні теплообміну у вигляді тонкого шару, безперервно зрізаного ножом. Отриманий лід придатний для наступного відділення від концентрату.

Перші апарати барабанного типу виготовлялися з розсольним охолодженням. Схема барабанного кристалізатора з розсольним охолодженням використаного в кріоконцентраторах Краузе-Лінді та Хейса-Нейєрбурга представлений на рис. 3.1. Подібні апарати можуть бути і з безпосереднім охолодженням киплячим холодильним агентом. Модифікація такого апарату вертикального виконання з притискними кюветами запропонована [2]. Принципова її конструкція запропонована на рис.3.2. Як зазначалося раніше, технологічний процес повинен забезпечувати отримання льоду, вільного від

включення інших компонентів продукту. Тут швидкість льодоутворення лімітується як процесами тепловіддачі, а й масопереносу. Розглянуті барабанні льодогенератори, дозволяючи здійснювати досить інтенсивне теплоперенесення, не забезпечують високої швидкості масопереносу. Це призводить до необхідності зменшення теплового потоку в апараті до значень, що забезпечують масообмін без захоплення льодом компонентів, що викликає збільшення габаритів апарату.

Кращі умови льодоутворення при концентруванні досягаються в апараті вогаторного типу фірми Фріго-Доброн [2]. Вихідний продукт надходить у резервуар 1 (рис.3.3.), охолоджений холодильним агентом, що кипить у сорочці 2. Утворюється лід видаляється з охолоджуваної поверхні скребками 3. Можлива конструкція апарата з кільцевими камерами без їх притиску при спіральному рух. Інтенсифікація процесу масопереносу в даних апаратах забезпечується за рахунок збільшення швидкості пригоди рідини вздовж охолоджуючої поверхні, а також завдяки тому, що ножі виконують роль мішалки. Однак, раціональні швидкості видалення льоду з поверхні та перемішування різні. Тому доцільніші конструкції, що дозволяють їх незалежно варіювати. У цих цілях може бути використане кілька рішень.

подача
морської
води

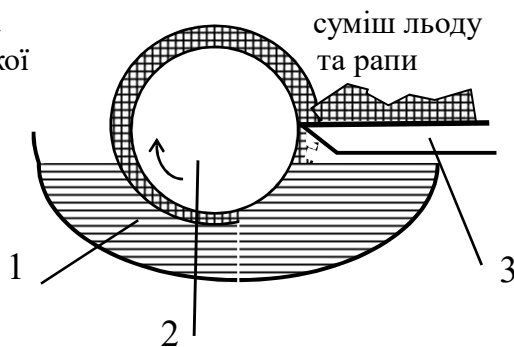


Рис. 3.1.Схема барабанного кристалізатора обертового типу з внутрішнім охолодженням: 1-поддон для морської води, 2-охолоджувальний барабан, 3-ніж и транспортер суміші льоду і рапи.

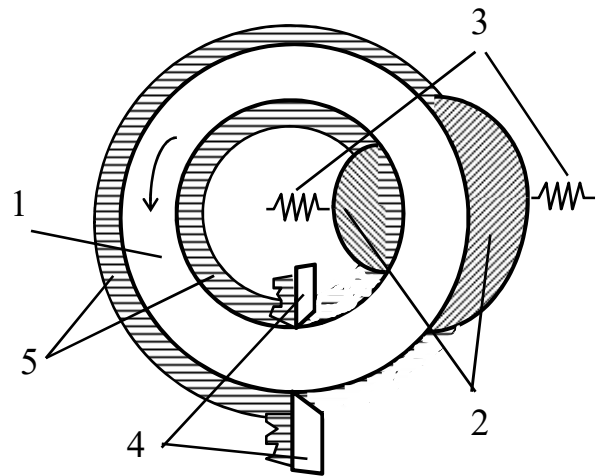


Рис. 3.2. Схема барабанного кристалізатора з двосторонньою охолоджуваною поверхнею: 1-охолоджуваний барабан, 2-камери, 3-пружини камер, 4-ножі, 5-наморожений шар льоду.

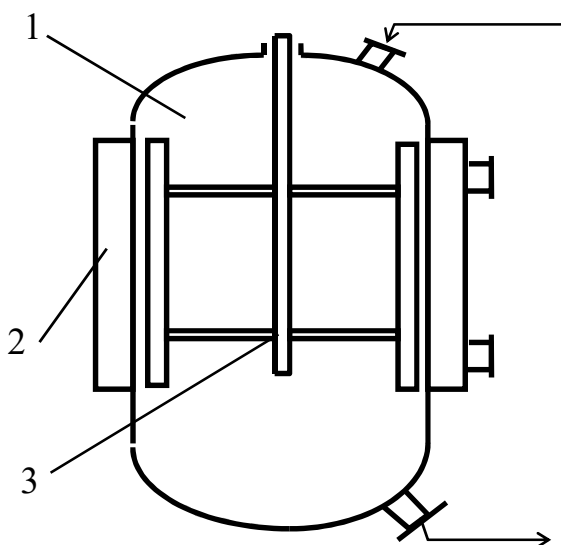


Рис. 3.3. Схема кристалізатора вататорного типу: 1-резервуар, 2-сорочка охолодження, 3-скребки.

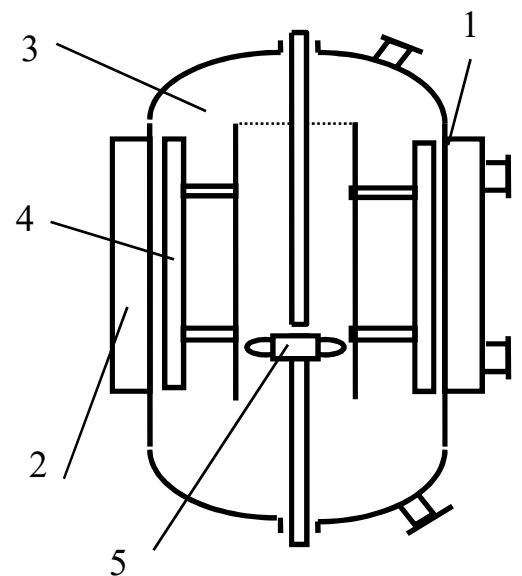


Рис. 3.4. Схема кристалізатора вататорного типу з незалежним пристроєм, що перемішує і ножовим: 1.- поверхня теплообміну; 2 - сорочка, що охолоджується; 3-резервуар; 4 – ножі, 5 – мішалка.

Перше їх наведено на рис. 3.4. Льодогенератор складається з ємності для розчину 3 з поверхнею теплообміну 1, що охолоджується киплячим в сорочці 2 холодильним агентом; обертових ножів 4, що приводяться в обертання редуктором, і пристрою, що переміщує 5. Вихідний розчин подається в нижню частину резервуара 3. При інтенсивному перемішуванні відбувається часткове виморожування води з розчину, як на поверхні теплообміну, так і в обсязі продукту. Лід із поверхні теплообміну зрізається ножами 4 і змішується з основним розчином. Суміш льоду та розчину відводиться з апарата на подальший поділ. Такий апарат має ряд переваг у порівнянні з описаними вище, тому що в ньому значно покращені умови масообміну і можливе незалежне варіювання як швидкістю перемішування, так і зрізана швидкістю льоду. Це дозволяє організувати сприятливі умови кристалізації як поверхні теплообміну, а й обсязі апарату.

Ефекту турбулізації можна добитися також в апаратах барабанного і вортаторного типу зміною перерізу потоку, однак при цьому скорочується час перебування кристалів в апараті та зменшуються їх середні розміри. І тут виникає необхідність вирощувати кристали додатковому апараті. Таке рішення часто використовується для організації процесів кристалізації, коли зони охолодження та вирощування кристалів розділені.

Для кріоконцентруючих установок таке рішення використано фірмою "Гренко". Блок кристалізації кріоконцентрату фірми "Гренко" представлено на рис.3.5. За схемою вихідний продукт після змішування з концентратом надходить в скребковий кристалізатор - охолоджувач 1. Отриманий переохолоджений розчин з дрібними кристалами направляється в рекристалізатор 2 з турбінною мішалкою 3, нестійких при переохолодженні в апараті. Концентрат на рециркуляцію відбирається через фільтруючу поверхню 4 насосом 5. При використанні схеми досягається максимальне переохолодження потоку в апараті 1 при порівняно малому переохолодженні в апараті 2, що покращує об'ємну кристалізацію розчину і якість одержуваних кристалів.

У апаратах, показаних на рис. 3.4. та 3.5. можуть використовуватися різні пристрої, що перемішують, ефективні для здійснення процесів тепломасообміну з дисперсною фазою. Зазначимо, що розглянуті апарати мають малорозвинену питому поверхню. У той же час, її збільшення призводить до зменшення енерговитрат на кріоконцентрування та покращення кінетики льодоутворення.

Заслужують на увагу дискові кристалізатори, що мають значно більшу поверхню в одиниці об'єму апарату, схема якого представлена на рис. 3.6. Він складається з набору пустотілих дисків 1, усередині яких циркулює однофазний охолоджувач або киплячий холодильний агент, що рухається послідовно від диска до диска. У просторі між дисками розташовані ножі 2, що приводяться в обертання валом 3. Апарат має дві торцеві кришки 4, які стягують весь пакет і мають патрубки для подачі розчину, а також виходу суміші льоду та концентрату. Потік суміші льоду та розчину з однієї порожнини до іншої здійснюється через отвори в дисках.

До апаратів прямого охолодження (вакуумні кристалізатори) відноситься апарат, досліджений у роботі [2] (рис.3.7). У ньому випаровування розчину відбувається, в основному, з поверхні розділу пароподібної та рідкої фази при розбризкуванні вихідного розчину в пристрої 1. Транспортування суміші льоду та розчину в апараті проводиться за допомогою мішалки 2.

Однак, перелічені кристалізатори разом зі своїми перевагами мають ряд недоліків. Порівняльна характеристика кристалізаторів різних видів наведена в табл. 3.1.

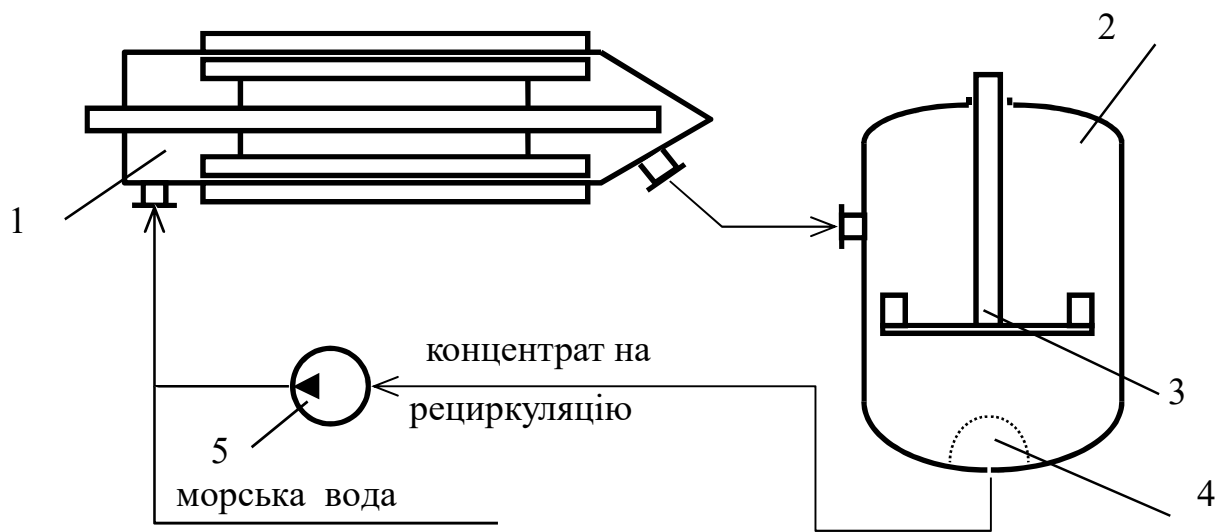


Рис.3.5. Схема блоку кристалізації з роздільними зонами охолодження та вирощування кристалів: 1 кристалізатор – охолоджувач, 2 рекристалізатор, 3-мішалка, 4-фільтруюча поверхня, 5-насос.

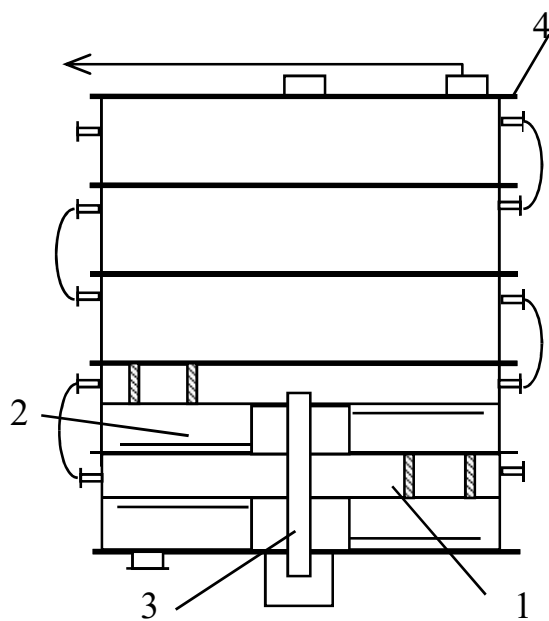


Рис. 3.6. Схема дискового кристалізатора: 1-диски, 2- ножі, 3- вал, 4- кришки.

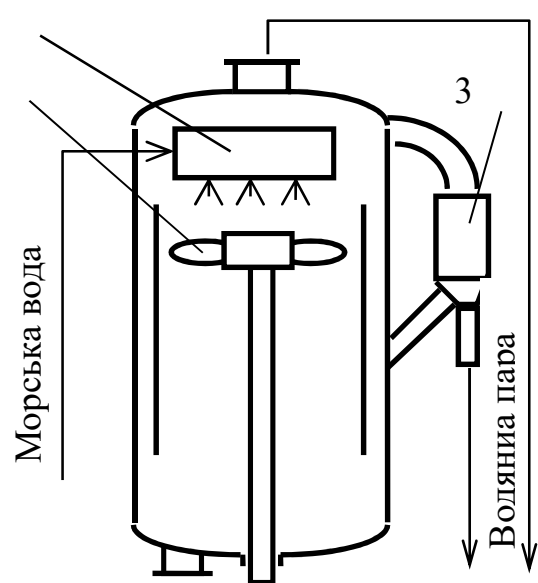


Рис.3.7. Схема кристалізатора вакуумної виморожуючої установки: 1.-розбризувальний пристрій, 2-мішалка, 3-розділювач.

Таблиця 3.1

Характеристики кристалізаторов

Тип кристалізатора	Переваги	Недоліки
Барабаний з внутрішнім охолодженням	Одержувана суспензія “кристали - продукт” мають вищу концентрацію кристалів льоду.	Великі витрати холоду. Складність підведення холодильного агента. Маленькі розміри одержуваних кристалів. (0,1мм.). Додаткові витрати видалення шару льоду. Необхідність рекристалізатора.
Вотаторний	Одержувані кристали значних розмірів (1-3мм). Простота підведення холодильного агента.	Низька концентрація льоду суспензії “кристали - продукт”. Додаткові витрати видалення шару льоду.
Барабаний із зовнішнім охолодженням	Простота конструкції та підведення холодильного агента.	Низька концентрація льоду суспензії “кристали - продукт”. Невеликі розміри одержуваних кристалів (0,1мм.). Додаткові витрати видалення шару льоду. Необхідність рекристалізатора.
Дисковий	Добре розвинена поверхня теплообміну.	Складність конструкції. Низька концентрація льоду суспензії “кристали - продукт”. Маленькі розміри одержуваних кристалів. (0,1мм.). Додаткові витрати видалення шару льоду. Необхідність рекристалізатора.
Прямого охолодження	Простота конструкції. Одержувані кристали значних розмірів.	Необхідність у наявності вакуум-насоса. Складність поділу водяної пари та повітря.

3.1.2. Сепаратори льоду та розчину.

Класифікація способів поділу льоду та розчину була наведена вище. В даний час для цього застосовують центрифуги, пресові сепаратори, промивні колони та сепаратори примусового миття поршневого типу, представлені на рис.3.8. Суміш льоду та розчину подається через порожнистий вал (1) поршня, що рухається зворотно-поступально. Коли поршень знаходиться у крайньому нижньому положенні, суміш надходить у зону 4, обсяг якої визначається ходом та площею поршня.

При ході поршня вгору розчин видаляється через сітку на днище поршня, а лід спресовується, утворюючи зону щільного шару 3. Вода, що подається у верхню зону, промиває лід у верхній частині зони 3, проходячи через перфорацію ножа, що обертається 2, а очищений від концентрату лід зрізується ножом і видаляється з потоком прісної води.

Поршневі сепаратори мають простішу конструкцію, але порівняно великі втрати сухих речовин, ніж промивні колони. Схему поршневого сепаратора наведено на рис 3.9.

Поділ суспензії на кристали льоду і концентрат відбувається таким чином: коли поршень 1 знаходиться в крайньому лівому положенні, через патрубок подається суміш у циліндр. При русі поршня вперед суспензія ущільнюється. Під впливом тиску концентрат переміщається між кристалами льоду у напрямку фільтру 2, після проходження якого виводиться з апарату. Під дією тиску кристали льоду спресовуються в щільну масу, яка видавлюється з апарату через звужену частину конуса. Виступаючий кінець спресованого льоду безперервно розмелюється ножами, що обертаються 3. Частотою обертання ножа регулюється тиск і, відповідно, якість поділу суспензії.

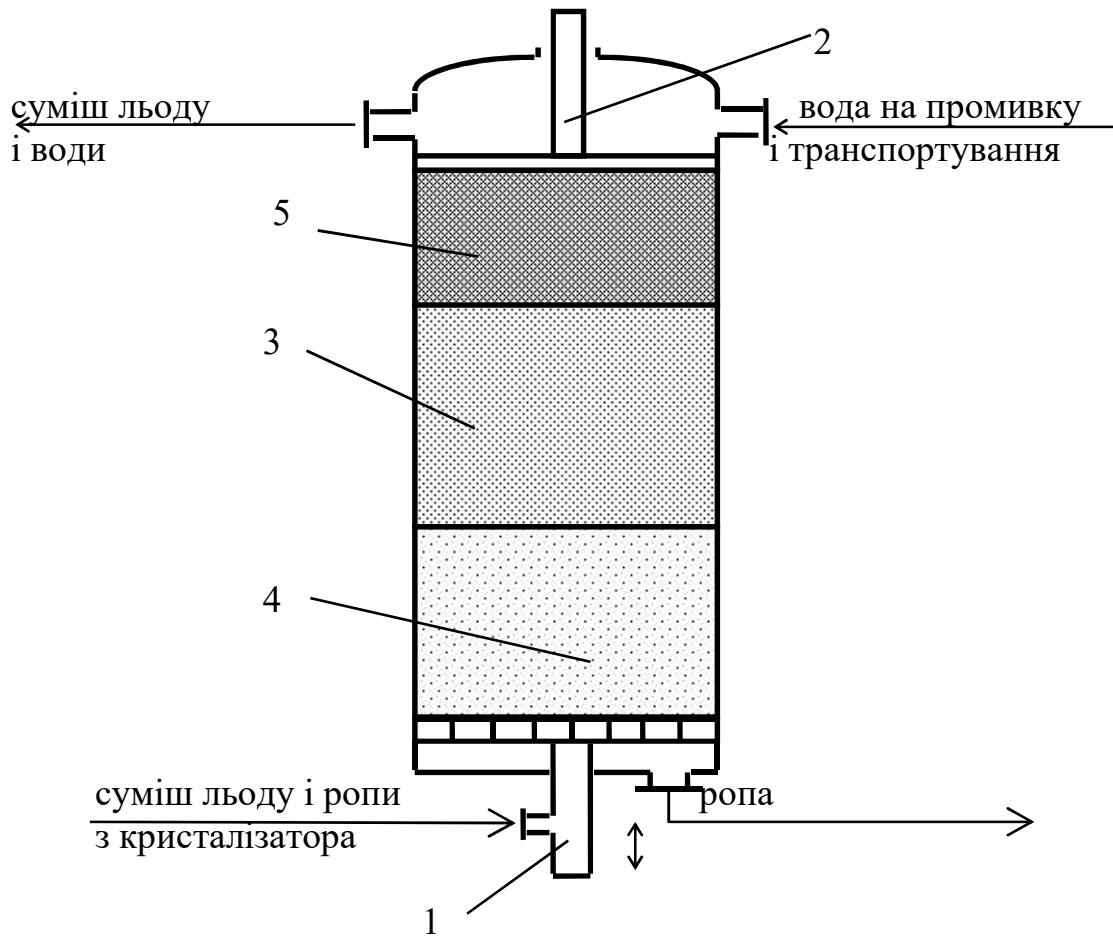


Рис. 3.8. Схема сепаратора примусового промивання поршневого типу: 1 - порожнистий вал, 2 - обертовий ніж, 3 - зона щільного шару, 4 - зона ходу поршня, 5 - зона промивання.

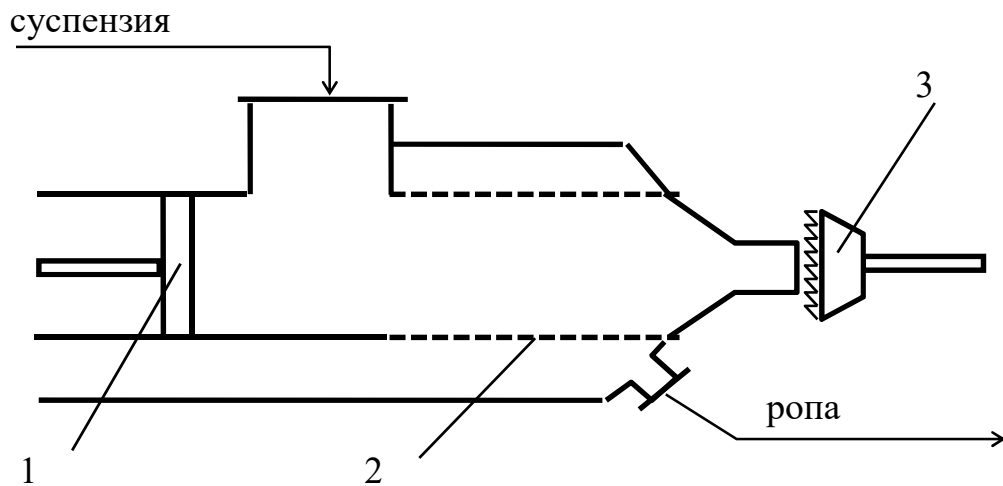


Рис. 3.9. Схема поршневого сепаратора льоду: 1- поршень, 2- фільтрувальна перегородка, 3- ніж.

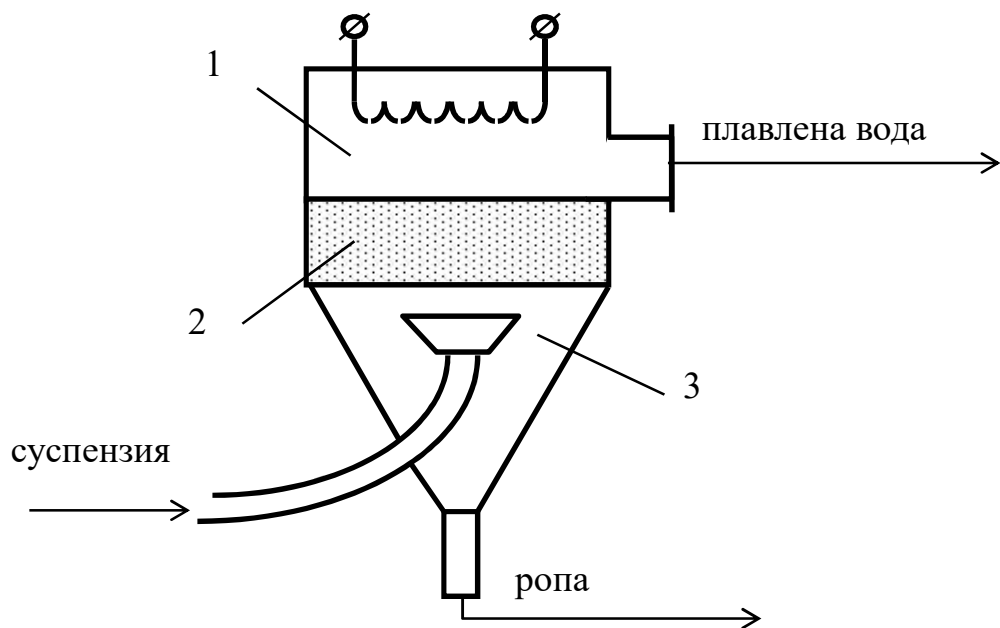


Рис. 3.10. Схема промивної колони: 1 – нагрівач; 2 – зона льоду.
3 – зона ропи.

Процес сепарування в колоні для промивання складається з двох етапів: відділення ропи від кристалів льоду і промивання ущільненого шару проточною водою. Відділення ропи від кристалів льоду засноване на різниці питомої ваги двох компонентів суспензії і проходить під дією гравітації.

Схема промивної колони представлена на рис.3.10. Суспензія накопичується в колону промивання знизу. Так як питома вага кристалів менша, вони розташовуються зверху. Досягаючи нагрівального пристрою, крига розплавляється. Частина розплавленого льоду залишає колону, що залишилася - стікає вниз по крижаному шару і безперервно обмиває кристали льоду, витягаючи з них частинки концентрату.

Однак описане вище обладнання має ряд недоліків. Насамперед - це його складність, що зумовлює великі капітальні витрати на виготовлення. Для нормальної роботи даного обладнання необхідно, щоб обслуговуючий та ремонтний персонал мав високу кваліфікацію, що є неприйнятним для фермерських та малих підприємств. Використання сепараторів призводить до збільшення капітальних витрат на додаткове обладнання, таке як центрифуги,

поршневі сепаратори, промивні колони. Те, що після кристалізації кристали льоду мають малий розмір (0,2 -1 мм), призводить до втрати частини кристалів льоду в потоці суспензії при транспортуванні на операцію поділу. Додаткові втрати льоду відбуваються при сепаруванні.

3.1.3. Метод блочного виморожування.

Багатьох із перерахованих недоліків можна уникнути, застосувавши спосіб блочного виморожування. Цей метод, як і всі методи концентрування виморожуванням, складається з етапів кристалізації та сепарування. Суть етапу кристалізації в методі блочного виморожування полягає в отриманні пористого блоку льоду з включенням до його структури деякої частини концентрату. Етап сепарації у цьому методі відбувається без додаткових витрат енергії. Сепарація у разі відбувається під впливом гравітаційних сил.

Схема установки для блочного виморожування наведено на рис.3.11. В ізолювану ємність 1 з продуктом 4 поміщаються кристалізатори 2, які приєднані до холодильної машини. При кипінні холодильного агента кристалізаторах за рахунок переохолодження продукту на них утворюються блоки льоду 3, що складаються з кристалів води і частиною захопленого в нього продукту. Кількість продукту, що міститься в блоці льоду, пропорційна температурі кристалізатора. Чим вище температура кристалізатора, тим нижче вміст продукту в блоці. Після досягнення блоком льоду певних розмірів кристалізатори разом з льодом витягуються з ємності. Для зняття льоду з кристалізаторів сепаратор подають пари холодильного агента. В результаті цього кристалізатори подаються пари холодильного агента, які, конденсуючись, виділяють тепло і підвищують температуру на поверхні випарника. Блок льоду, що оплавився, під дією сили тяжіння витягується з кристалізатора.

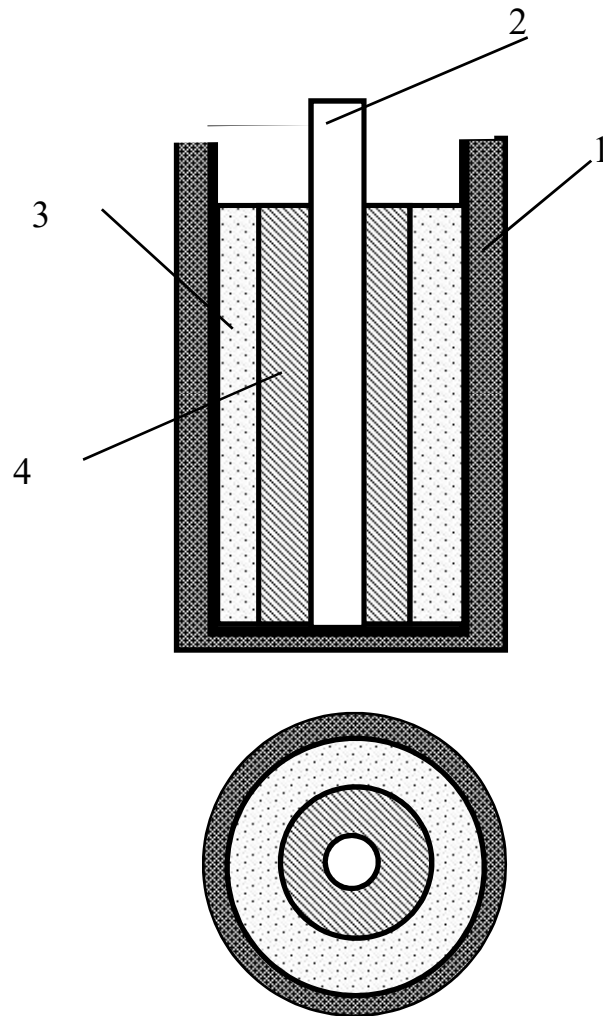
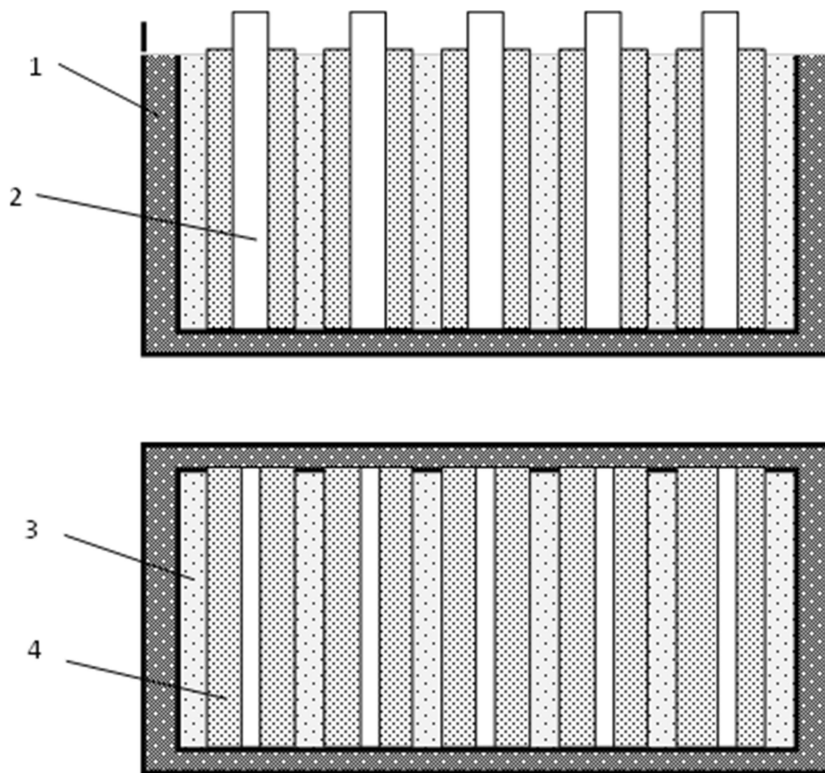


Рис. 3.11. Схема установки для блочного виморожування зі стрижневим кристалізатором: 1 – ізольована ємність, 2 – кристалізатор, 3 – розчин, 4 – блок льоду.

Кристалізатори для блочного виморожування бувають двох типів - стрижневі та пластинчасті. Для установок з одним кристалізатором (в апаратах невеликої продуктивності або для останнього рівня концентрування) перевагу слід віддавати стрижневим кристалізаторам. У цих кристалізаторах підвищення термічного опору блоку льоду частково, а в деяких випадках і повністю компенсується, збільшенням теплопередаючої площі. Однак, при використанні їх групами, ця перевага втрачається за рахунок зрощення блоку льоду.

Тому для установок великої продуктивності переважно використовувати пластинчасті кристалізатори, які представлені на рис.3.12



Мал. 3.12. Схема установки для блочного виморожування із пластинчастим кристалізатором: 1 – ізольована ємність, 2 – кристалізатор, 3 – розчин, 4 – блок льоду.

Вони відрізняються більшою технологічністю, компактністю, тобто великою поверхнею кристалізації при меншому обсязі, ніж стрижневі.

3.2. Фізичні основи поділу виморожуванням

Принципи поділу виморожуванням ґрунтуються на зміні умов фазової рівноваги при охолодженні або нагріванні. Тому характеристики оброблюваних середовищ повинні відображати особливості цих середовищ як термодинамічної системи: її фазовий склад; якісний та кількісний склади компонентів у межах аналізованої фази та системи в цілому; показники термодинамічної рівноваги системи. Найбільш зручно зображати ці параметри у фазових діаграмах.

Схематичний вигляд фазової діаграми зображено на рис. 3.13.

Основна лінія АВ діаграми відповідає рівновазі фаз лід - розчин. При охолодженні маси розчину M_p від точки 1 до точки 2, розчин не міняє свого фазового складу, а при температурі T_2 - стає насиченим. Подальше зниження температури без зміни фазового складу для термодинамічної рівноваги системи неможливо. При $T < T_2$ рівноважна концентрація розчину на лінії АВ $\xi_2 > \xi_1$. Збільшення концентрації розчину при температурі $T < T_2$ досягається перетворенням частини води на лід. При температурі $T_3 < T_2$ рівноважна концентрація у рідкій фазі становитиме ξ_3 , а кількість льоду та розчину визначиться з балансу маси:

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{лз}} \cdot \xi_0 + M_{\text{рз}} \cdot \xi_3 \quad (3.1)$$

Індекси відповідають точкам на діаграмі. Так як концентрація вихідної суміші змінюється, і крига не містить неводних компонентів, то

$$\xi_0 = 0; M_{\text{рз}} = M_{\text{пр}} \cdot \xi_1 / \xi_3; M_{\text{лз}} = M_{\text{пр}} (\xi_3 - \xi_1) / \xi_3 \quad (3.2)$$

В результаті охолодження вихідного розчину отримана суміш льоду і більш концентрованого розчину. Якщо при температурі T_3 розділити тверду та рідку фази суміші та підвести до них теплоту, то після плавлення льоду та нагрівання води та розчину до вихідної температури T_1 отримаємо

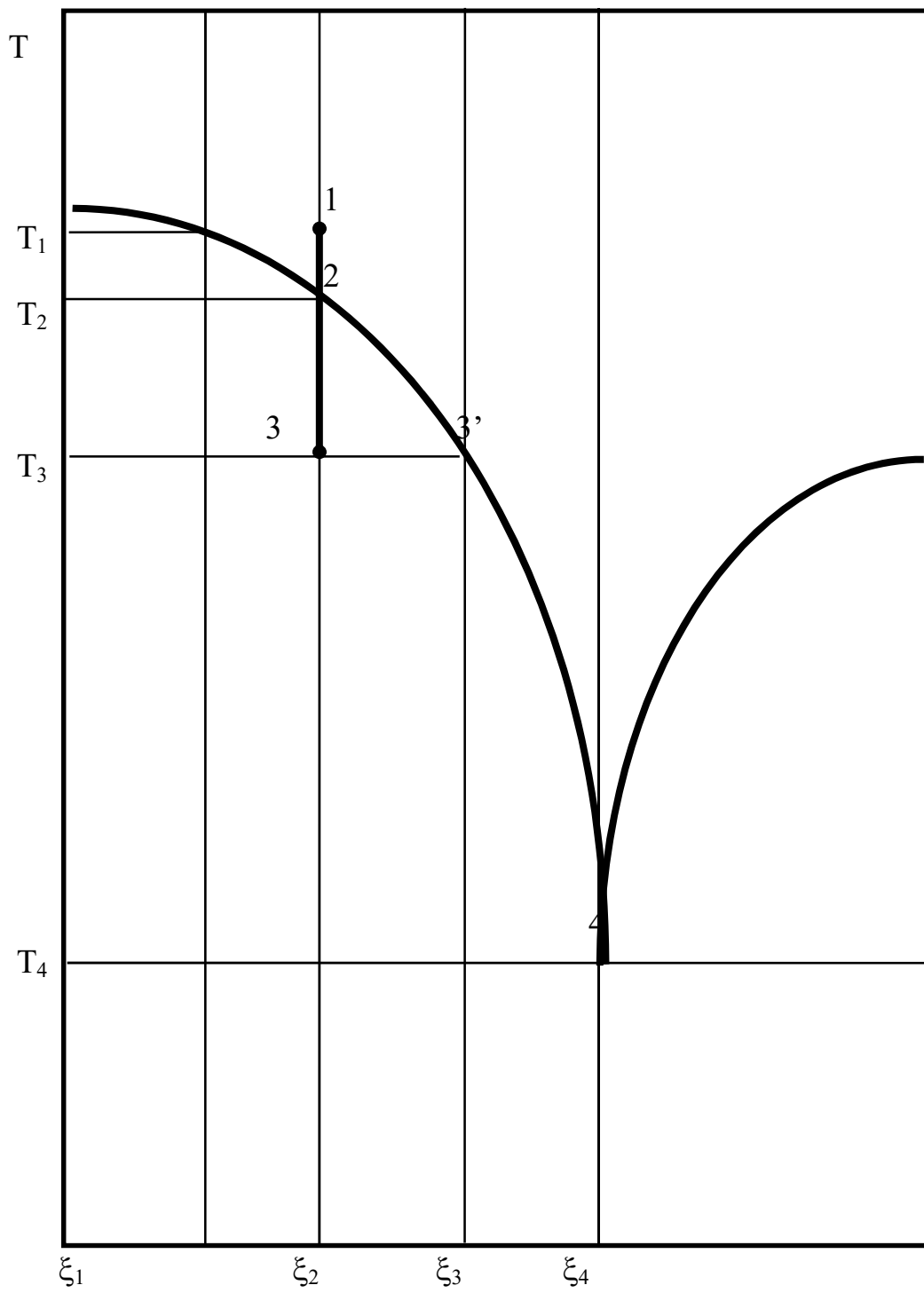


Рис 3.13. Реальний процес однократної кристалізації бінарної суміші.

більш концентрован розчин ξ_1 (точка 1б) і чисту воду ξ_2 (точка 1а).

Технологія поділу, що базується на розглянутих фізичних процесах, включає три етапи: охолодження вихідного розчину з частковою кристалізацією з нього льоду; поділ льоду та більш концентрованого розчину; нагрівання продуктів поділу до температури вихідного розчину.

Таку технологію застосовують для концентрування різних рідких харчових продуктів та для опріснення води. Її відмінною особливістю є утворення при концентруванні лише однієї твердої фази – льоду. Такий спосіб концентрування можливий при охолодженні суміші до евтектичної температури $T_e = T_4$, а максимально досяжна концентрація розчину дорівнює $\xi_3 = \xi_4$. Кількості льоду та розчину, які будуть отримані при охолодженні розчину від температури T_2 до температури T_E и балансу мас складає:

$$M_{p4} = M_{пр4} \cdot \xi_1 / \xi_4 \quad (3.3)$$

Теоретичний (рівноважний) процес поділу передбачає, що на стадії кристалізації досягається фазова рівновага, а при поділі отриманої суспензії матковий розчин повністю відокремлюється від твердої фази. У реальних процесах концентрація кристалічної фази вища за рівноважну, внаслідок захоплення маткового розчину твердою фазою, який знаходиться в тріщинах льоду, пористому кристалічному шарі і т.д.

Для характеристики реальних процесів виморожування використовують коефіцієнт ефективності поділу:

$$\varepsilon = \frac{\xi_3 - \xi_i}{\xi_3 - \xi_0} \quad (3.4)$$

Захоплення сухих речовин твердою фазою характеризується коефіцієнтом захоплення маткового розчину:

$$\eta = \frac{\xi_i - \xi_0}{\xi_3 - \xi_0} \quad (3.5)$$

3.3. Патентний пошук

На корисну модель UA № 115818 від 25.04.2017 року [5]: Спосіб концентрування водних розчинів виморожуванням включає процеси охолодження і подачу холодоагенту в газоподібному стані, контакт його з рідиною з утворенням кристалів льоду та концентрованої рідини, сепарацію, промивку та плавлення льоду з отриманням прісної води. Процеси охолодження, подачу холодоагенту в газоподібному стані та контакт його з рідиною з утворенням кристалів льоду і концентрованої рідини здійснюють при тиску $0,3 \div 0,5$ МПа.

Для концентрування рідин виморожуванням з метою виділення розчинених речовин при евтектичних параметрах відомо спосіб, що включає охолодження і подачу холодоагенту в газоподібному стані, контакт його з рідиною з утворенням кристалів льоду та концентрованої рідини (концентрату), сепарацію, промивку та плавлення льоду. Недоліком такого способу, що здійснюється при атмосферному тиску, є підвищені витрати енергії ($50 \dots 100$ кВт·год./т води), визначені перш за все суттєвими енергозатратами на переміщення газоподібного холодоагенту, що контактує з розчином. Задача корисної моделі - підвищити енергоефективність концентрування водних розчинів виморожуванням при застосуванні газоподібного холодоагенту. Поставлена задача вирішується завдяки тому що, згідно зі способом концентрування рідин виморожуванням включає процеси охолодження і подачу холодоагенту в газоподібному стані, контакт його з рідиною з утворенням кристалів льоду та концентрованої рідини, сепарацію, промивку та плавлення льоду з отриманням прісної води, згідно з корисною моделлю, з метою зменшення енерговитрат процеси охолодження, подачу холодоагенту в газоподібному стані та контакт його з рідиною з утворенням кристалів льоду і концентрованої рідини здійснюють при тиску $0,3-0,5$ МПа.

На Рис.3.14 показана блок-схема установки для концентрування водних розчинів виморожуванням; показані залежності енерговитрат L і L_v+L_p від тиску

газоподібного холодоагенту при концентруванні водних розчинів виморожуванням. Блок-схема установки для концентрування водних розчинів виморожуванням складається з теплообмінника 1, кристалізатора - виморожувача (Кр-Вм) 2, вентилятора 3, холодильної машини 4, компресора 5. Установка працює наступним чином: початкова рідина попередньо охолоджується в теплообміннику 1 холодними потоками концентрату та прісної води, що виходять з установки, змішується з рідиною, що рециркулює, а суміш надходить в Кр-Вм 2. В Кр-Вм 2, де підтримується тиск вище атмосферного, подається також охолоджений в холодильній машині 4 газоподібний холодоагент, циркуляція якого здійснюється за допомогою вентилятора 3. При контакті холодоагенту із сумішшю вхідної рідини та рідини, що рециркулює, відбувається її охолодження з утворенням кристалів льоду та відповідним підвищенням концентрації рідини. Потім кристали льоду сепаруються від концентрату, промиваються та плавляться з утворенням прісної води (на схемі не показано), а концентрат ділиться на дві частини - більша частина повертається на рециркуляцію (на схемі не показано), а менша через теплообмінник 1 виводиться з установки. Так як з Кр-Вм 2 буде постійно виноситись частина газоподібного холодоагенту потоками концентрату та прісної води, що виходять, то для підтримання необхідного тиску буде потрібно поповнювати газоподібний холодоагент в еквівалентній кількості за допомогою пристрою 5 (компресор).

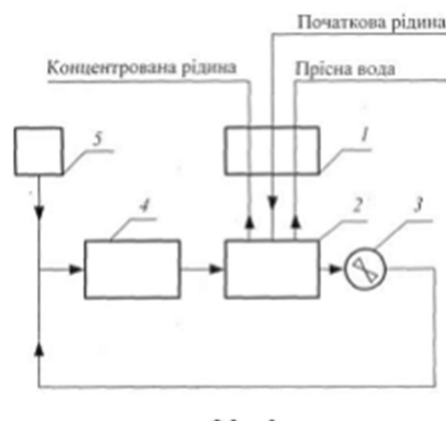


Рис. 3.14. До корисної моделі № 115818

На корисну модель UA № 82486 від 12.08.2013 року [6]: Установа для опріснення води містить ємність зі стрижневими робочими органами, з'єднаними з холодильною системою, на яких наморожуються блоки льоду. Додатково містить циркуляційний насос, теплообмінник, ресивер, виконавчий механізм, блок управління і датчик температури, установлений на вході ємності зі стрижневими робочими органами. сягається, можна пояснити наступним.

Процес опріснення розчину можна розділити на три періоди, які мають свої особливості. На першому відрізку (період I) відбувається охолодження розчину до температури кристалізації води в розчині, яка нижче рівноважної температури замерзання розчину на величину 2...5 °С в залежності від концентрації. В момент утворення на охолоджуваній поверхні кристалічної структури температуру холодоносія піднімають до величини, яка забезпечує переохолодження розчину у двофазній зоні на рівні 0,6...1 °С (період II). У зв'язку з тим, що в результаті опріснення утворюється тверда фаза з меншим вмістом сухих речовин, ніж у розчині, концентрація якого в процесі підвищується, це призводить до пониження температури замерзання. Ще одним фактором, який впливає на необхідність більшого зниження температури холодоносія для підтримання необхідного переохолодження є ріст блока льоду, а разом з цим і термічного опору на ділянці "холодоносій - двофазна зона". Тому, подальше виморожування проводять постійно понижуючи температуру холодоносія (період III). Установа для опріснення води зображена на кресленні, де: фіг. 2 - схема установки; фіг. 3 - вигляд ємності з робочими органами.

Установа містить теплообмінник 1, ресивер 2, триходовий клапан 3, вентиль 4, установлений на байпасній магістралі (окремою позицією не показана), циркуляційний насос 5, стрижневі робочі органи 6, ємність 7, вентиль ручний 8, датчик температури 11, установлений на вході в стрижневі робочі органи 6; виконавчий механізм 9 сполучений з триходовим клапаном 3; блок управління 10. Перелічені вузли й елементи сполучені між собою за такою схемою. Вихід пластинчатого теплообмінника 1 сполучений з входом ресивера 2, вихід якого

через триходовий клапан 3 сполучений з циркуляційним насосом 5. Вихід циркуляційного насоса 5 сполучений з входом стрижневих робочих органів 6. Вихід стрижневих робочих органів 6 сполучений з триходовим клапаном 3 і входом в теплообмінник 1. На ділянці трубопроводу, який з'єднує вихід стрижневих робочих органів 6 з пластинчатим теплообмінником 1 установлений вентиль (ручний) 8. На ділянці трубопроводу, що з'єднує циркуляційний насос 5 зі стрижневими робочими органами 6, установлений датчик температури 11, безпосередньо на вході в стрижневі робочі органи 6. Вихід блока управління 10 сполучений з виконавчим механізмом 9 з'єднаним з триходовим клапаном 3, а вхід - з датчиком температури 11, установленим на вході в стрижневі робочі органи 6.

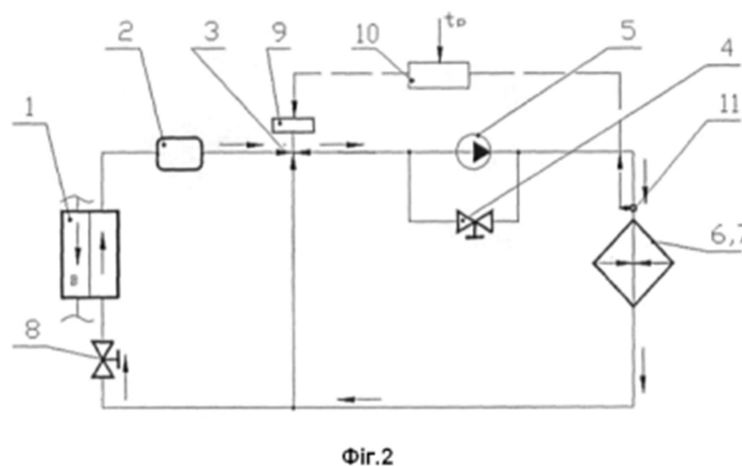


Рис. 3.15. До корисної моделі № 82486

На корисну модель UA № 81626 від 10.07.2013 року [7]: Апарат для опріснення води містить циліндричну ємність, яка складається з першої верхньої секції обладнаної кришкою з центральним вхідним патрубком, обладнаним корковим краном і перегородкою із центральним напівкульовим заглибленням. Перегородка забезпечена патрубком з кульовим клапаном на кінці. Секція утворена конусною оболонкою. По краях центрального отвору перегородки

жорстко закріплена третя воронкоподібна секція, стінки якої в нижній частині переходять в трубопровід, нижній кінець якого переходить в перегородку, що обладнана трубопроводом в четвертій секції і з'єднана з патрубком з корковим краном за межами днища. Днище обладнано центральним патрубком з корковим краном, а стінка другої секції перфорована отворами нижче шайбоподібної перегородки, над якою розміщені півкільцеві трубопроводи з електронагрівальними приладами. Перегородки зі стінкою ємності і конусною оболонкою утворюють п'яту секцію, а днище установки розміщене на опорах.

Майданчики для заморожування бунтів льоду представляють собою басейн глибиною 50-60 см з дном, який має нахил до випускного патрубка. Над дном басейну на висоті 20-30 см розміщується дірчасте дно із залізобетонних колесників або дощок, укладених на ребро. Дірчасте дно дозволяє стікати розсолу і воді з бунта в басейн, а з нього в резервуар прісної води або в накопичувач розсолу. В стінках басейну мають місце вікна, які закриваються, для вентиляції піддренажного простору і подачі теплого повітря для прискорення танення льоду. Над басейном монтуються труби з отворами або форсунками, які забезпечують розподіл і розбризкування соленої води під час заморожування бунта льоду. Недоліком цієї установки є: сезонне використання холоду в зимовий період; низька продуктивність при зайнятості великої площі; не може бути використана в південних районах, де порівняно коротка зима з низькими температурами. Відома також установка безперервної дії з виморожуванням соленої води штучним холодом (Б.С. Колычев. Атом утоляет жажду. - М., Атомиздат, 1970г.). Соленая вода до того, як надійти в апарат для виробництва льоду, охолоджується холодним розсалом, який утворюється при розтаванні, а також самим льодом. Охолодившись в теплообміннику, вона надходить в генератор, по змійовиках якого тече рідина з низькою температурою з холодильної установки. В генераторі утворюється суспензія льоду. Така концентрація досягається, коли $1/3$ соленої води перетворюється в лід. Одержаний уже частково лід разом з незамерзлим розсалом, який залишився,

через розвантажувальний люк попадає на сітчастий транспортер. Після відділення незамерзлого розсолу в першій частині конвеєра лід надходить в камери танення, де обдувається теплим повітрям, яке подається компресором. Лід частково розтає, і з утворюваним розсолем виходить ще значна частина солі. Одержаний на першій і останній частині конвеєра розсіл надходить в теплообмінник, де проходить попереднє охолодження вихідною соленою водою. Лід, який залишається, утримує уже тільки 0,5 г/л солі і відповідає нормі для питної води. Опріснений лід зсипається в ізолювану частину теплообмінника, через яку проходять трубопроводи з вихідною соленою водою, де і тане.

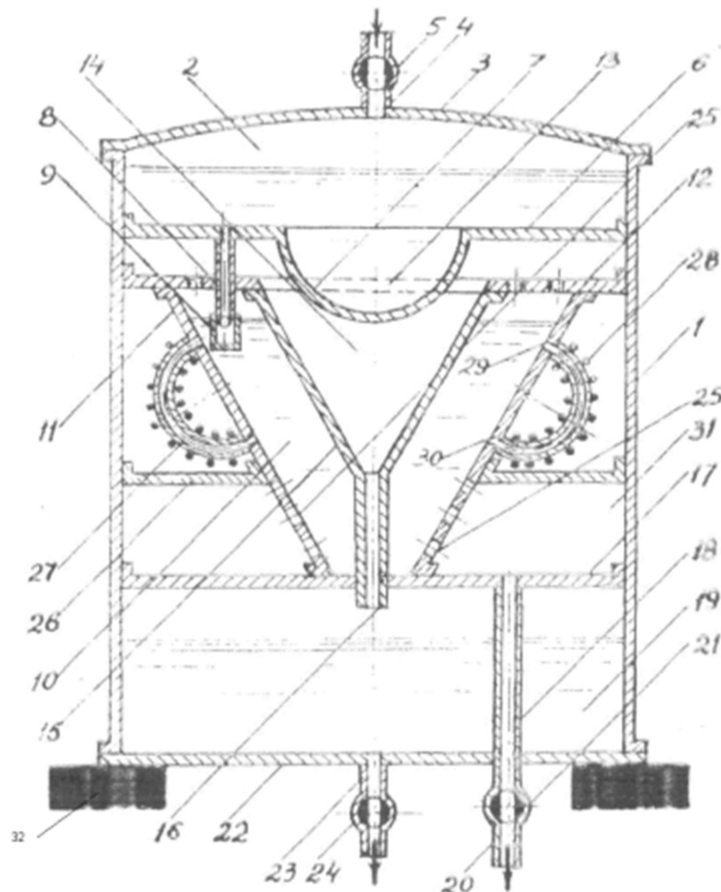


Рис. 3.16. До корисної моделі № 81626

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАТОРА МЕТОДОМ БЛОЧНОГО ВИМОРОЖУВАННЯ.

Метою технологічного розрахунку є визначення витрат енергії на опріснення та поверхні кристалізаторів.

Початковими даними для розрахунку є

Продуктивність по виморожені воді – $G_1=30$ кг/год= $8,33 \cdot 10^{-3}$ кг/с

Початкова концентрація соєвого екстракту – $a_{п}=15$ г/дм³.

Кінцева концентрація соєвого екстракту – $a_{к}=25$ г/дм³.

4.1. Матеріальний баланс.

Кількість віддаленої вологи знаходять із рівняння матеріального балансу за загальною масою [4]

$$G_{п} = G_{к} + W, \text{ кг} \quad (4.1)$$

та матеріального балансу щодо сухих речовин

$$G_{п} \frac{a_{п}}{100} = G_{к} \frac{a_{к}}{100} + W \frac{c_{л}}{100}, \text{ кг} \quad (4.2)$$

Вирішуючи спільно рівняння 4.1 та 4.2 можна знайти W

$$W = G_{п} \frac{a_{к}-a_{п}}{a_{к}-c_{л}}, \quad (4.3)$$

Середню концентрацію сухих речовин в блоці льоду визначаємо за формулою

$$c_{л} = X_{р} \cdot \varepsilon \cdot \frac{\rho_{р}}{\rho_{л}}, \quad \% \quad (4.4)$$

Значення пористості блоку льоду знаходять за емпіричним рівнянням

$$\varepsilon = 0,01 - 0,043 \frac{t_{ха}}{t_{р}} + 0,00019 \frac{X_{п}}{X_{р}} \quad (4.5)$$

При знявши температуру кипіння холодильного агенту, згідно рекомендацій [4] приймаємо температуру кипіння холодильного агенту -14°C . Рівноважна концентрація соєвого екстракту буде 34%.

Тоді

$$\varepsilon = 0,01 - 0,043 \frac{-14}{5} + 0,00019 \frac{15}{34} = 0,130$$

Середня концентрація сухих речовин в блоці

$$c_{л} = 34 \cdot 0,13 \cdot \frac{1075}{930} = 5,1\%$$

Кількість вологи W , яка випаровується

$$W = 30 \frac{25 - 15}{25 - 5,1} = 15,07 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 0,00419 \text{кг/с}$$

4.2. Визначення поверхні кристалізаторів.

Поверхню кристалізаторів визначаємо з рівняння теплопередачі.

$$Q = k \cdot F \Delta t_{\text{сер}}, \text{Вт} \quad (4.6)$$

Звідкіля

$$F = \frac{Q_k}{k \cdot \Delta t_{\text{сер}}}, \text{м}^2$$

де: Q_k – тепловий потік до кристалізатора, Вт,

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²К,

F – поверхня теплообміну, м².

$\Delta t_{\text{сер}}$ – температурний напір.

4.2.1 Тепловий баланс.

Загальні витрати теплової енергії при сушінні визначається з рівняння теплового балансу [2].

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{\text{втр}}, \text{Вт} \quad (4.7)$$

де: $Q_{\text{заг}}$ – загальний тепловий потік, Вт

Q_1 – витрати теплової енергії на охолодження соєвого екстракту до криоскопічної температури, Вт

Q_2 – витрати теплової енергії на заморожування соєвого екстракту, Вт

Q_3 – витрати теплової енергії на охолодження льоду до температури кристалізатора, Вт

$Q_{\text{втр}}$ – витрати теплової енергії на компенсацію втрат в навколишнє середовище, Вт

Витрати теплової енергії на охолодження визначається з рівняння

$$Q_1 = G_1 \cdot c(t_{\text{п}} - t_{\text{кр}}) = 8,33 \cdot 10^{-3} \cdot 3850(20 - (-3)) = 738 \text{ Вт} \quad (4.8)$$

де: $c=3850$ Дж/(кг К) – питома теплоємність продукту [8].

Витрати теплової енергії на заморожування соєвого екстракту за рівнянням

$$Q_2 = W \cdot r = 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot 332 \cdot 10^3 = 1392 \text{ Вт} \quad (4.9)$$

де: $r = 332 \cdot 10^3$ Дж/кг – питома теплота кристалізації води. [8]

Витрати теплової енергії на охолодження льоду до температури кристалізатора визначають з рівняння

$$Q_3 = G_{\text{л}} c_{\text{л}}(t_{\text{кр}} - t_{\text{к}}) = 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot 2140 \cdot (-3 - (-14)) = 98,6 \text{ Вт} \quad (4.10)$$

де: $c_{\text{л}}=2140$ Дж/(кг К) – питома теплоємність льоду [8].

Таким чином загальний тепловий потік з урахуванням компенсації втрат в доквілля складає

$$Q_{\text{заг}} = 1,04 \cdot (738 + 1392 + 98,6) = 2317 \text{ Вт}$$

Вибираємо компресорно – конденсаційний агрегат Embraco Aspera UGNJ2192GK параметри якого приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри компресорно – конденсаційний агрегат Embraco Aspera UGNJ2192GK

Бренд	Ембрако Аспера
Температурний режим	Низько температурний

Фреон	R404a, R507a
Напруга живлення	220-240 В/50 Гц/1 ~
Потужність	1600 Вт
Об'єм циліндра	2x26,1 см ³
Холодопродуктивність при $t^{\circ}\text{окр}+32^{\circ}\text{C}$; $t^{\circ}\text{кип.}-23.3^{\circ}\text{C}$	2396 Вт
Холодопродуктивність при $t^{\circ}\text{конд.}+45^{\circ}\text{C}$; $t^{\circ}\text{кип.}-30^{\circ}\text{C}$	1315 Вт
Холодопродуктивність при $t^{\circ}\text{конд.}+45^{\circ}\text{C}$; $t^{\circ}\text{кип.}-25^{\circ}\text{C}$	1839 Вт
Холодопродуктивність при $t^{\circ}\text{конд.}+45^{\circ}\text{C}$; $t^{\circ}\text{кип.}-20^{\circ}\text{C}$	2367 Вт
Холодопродуктивність при $t^{\circ}\text{конд.}+45^{\circ}\text{C}$; $t^{\circ}\text{кип.}-15^{\circ}\text{C}$	2993 Вт
Тип двигуна	CSR
Кількість вентиляторів	2x254 мм
Нагнітаючий патрубок	3/8"
Ресівер	2,3 л

Для визначення температурного напору будуюмо температурну епюру.

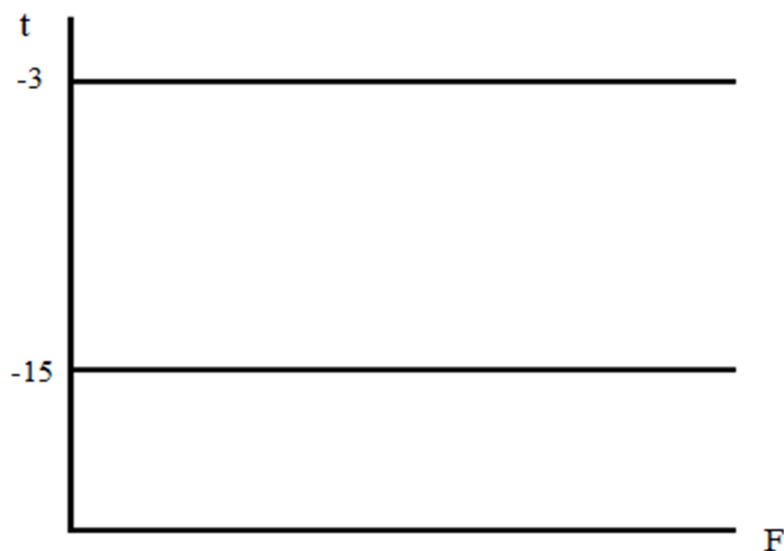


Рис.4.1.

Температурна епюра кристалізатора.

З епюри видно, що $\Delta t_{\text{сер}} = -3 - (-14) = 11 \text{ } ^\circ\text{C}$,

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо з наступної формули

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{л}}}{\lambda_{\text{л}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.11)$$

де: α_1, α_2 – відповідно коефіцієнти тепловіддачі від гарячого теплоносія до поверхні теплообміну, і від поверхні теплообміну до холодного теплоносія.

Визначення коефіцієнту тепловіддачі від гарячого теплоносія до поверхні теплообміну

Тепловіддача при вільному русі рідини (вільна конвекція) для вертикальних поверхонь (плоских та циліндричних) визначається з рівнянь

при $10^3 < Gr Pr < 10^9$

$$Nu = 0,76(GrPr)^{0,25} (Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25} \quad (4.12)$$

при $Gr Pr > 10^9$

$$Nu = 0,15(GrPr)^{0,33} (Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25} \quad (4.13)$$

де: Критерій Нусельта

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (4.14)$$

Критерій Прандтля характеризує фізичні властивості рідини і може бути представлений комплексами таких величин

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \quad (4.15)$$

Критерій Грасгофа характеризує гідродинамічний режим потоку рідини в умовах природної конвекції, що відбувається під впливом різниці густини нагрітої та холодної рідини:

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} \quad (4.16)$$

в цих критеріях:

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²К);

l – визначальний розмір, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності теплоносія, Вт/(мК);

c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг К);

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості (Па с);

g – прискорення вільного падіння м/с²;

β – коефіцієнт об'ємного розширення, К⁻¹;

Δt – різниця між температурами теплоносія і стінки °С;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості м²/с.

Ці параметри приймаємо за температурою кристалізації екстракту соєвого яка складає – 3 °С.

За цією температурою визначаємо теплофізичні властивості екстракту соєвого [8].

Густина – $\rho=1075$ кг/м³.

Коефіцієнт теплопровідності – $\lambda=0,594$ Вт/мК.

Динамічна в'язкість – $\mu= 1820 \cdot 10^{-6}$ Па с

Питома теплоємність – $c=3850$ Дж/(кгК)

Коефіцієнт об'ємного розширення – $\beta = 0,64 \cdot 10^{-4}$ К⁻¹;

Коефіцієнт кінематичної в'язкості – $\nu = 1,693 \cdot 10^{-6}$ м²/с

Різниця між температурами теплоносія і стінки – $\Delta t = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

Знаючи ці параметри розраховуємо відповідні критерії

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} = \frac{3850 \cdot 1820 \cdot 10^{-6}}{0,594} = 11,8$$

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,4^3 \cdot 0,64 \cdot 10^{-4} \cdot 6}{(1,693 \cdot 10^{-6})^2} = 56\,075\,742$$

Тоді

$$Gr \cdot Pr = 56\,075\,742 \cdot 11,8 = 6,61 \cdot 10^8 > 10^3$$

Таким чином

$$\begin{aligned} Nu &= 0,76(GrPr)^{0,25}(Pr/Pr_{ст})^{0,25} = \\ &= 0,76 \cdot (6,61 \cdot 10^8)^{0,25} \cdot \left(\frac{11,8}{12,2}\right)^{0,25} = 159 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{159 \cdot 0,594}{0,4} = 236 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Визначення коефіцієнт тепловіддачі α_2 від стінки до холодного теплоносія (холодоагент R404a) не можливо, у зв'язку з відсутністю даних по теплофізичні властивості холодильного агенту. Тому з літератури [9] приймаємо коефіцієнт тепловіддачі для занурювального випарника $\alpha_2 = 800 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

Тоді коефіцієнт теплопередачі буде

$$k = \frac{1}{\frac{1}{236} + \frac{0,002}{46} + \frac{0,02}{2,33} + \frac{1}{800}} = 70,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну

$$F = \frac{738 + 1392}{70,8 \cdot 11} = 2,73 \text{ м}^2$$

Кількість кристалізаторів:

$$n = \frac{2,73}{0,25 \cdot 0,4 \cdot 2} = 13,7, \text{ приймаємо кількість кристалізаторів – 14}$$

4.3 Розрахунок на міцність.

4.3.1 Розрахунок апаратів що знаходяться під дією внутрішнього тиску газу, з врахуванням сполучення оболонок [8]

Загальні положення

Товщину стінок циліндричних деталей апаратів знаходять за формулою

$$\delta = \frac{p \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \beta [\sigma] - p} + \delta_c \quad (4.17)$$

де p – внутрішній тиск газу в апараті;

$D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр циліндричної оболонки;

$[\sigma]$ — допустима напруга при розтягуванні для матеріалу стінки апарата;

β – коефіцієнт міцності, зварних з'єднань, δ_c – збільшення на корозію до товщини стінки апарата (від 1 до 4 мм і більше).

У місцях сполучення або закріплення оболонок апарату крім меридіональних та кільцевих зусиль, що визначаються за безмоментною теорією розрахунку оболонок, виникають ще й додаткові навантаження. Вони обумовлені взаємним впливом оболонок, кожна з яких заважає деформуватись іншою. Враховуючи симетричність деформацій щодо осі симетрії апарату, вважають, що деформації оболонок викликаються рівномірно розподіленими по краях (по колам) радіальними крайовими силами P_0 і меридіональними крайовими моментами M_0 .

Крайові сили та моменти виникають у таких випадках:

сполучні оболонки мають різну жорсткість - оболонки виконані з одного матеріалу, але мають різні товщини стінок;

сполучні оболонки мають однакові товщини стінок, але виконані з різних матеріалів;

край оболонки має жорстке загортання;

на край оболонки насаджений бандаж.

При поєднанні оболонок під кутом у стиковому перерізі з'являються ще й рівномірно розподілені по колу стику розпирні зусилля P , які визначаються як

проекції меридіональних сил (від внутрішнього тиску газу) на площину перетину стику, взятих зі зворотним знаком. Вони належать до заданих навантажень.

Крайові сили і моменти, що виникають у перерізах обох оболонок, повинні бути рівні за величиною і зворотні у напрямку. Розпирні сили входять у крайові як складові елементи, які впливом геть деформації і внутрішні сили оболонок враховуються в неявному вигляді. Так, наприклад, якщо на краю оболонки діють крайові сили P_0 та розпирні сили P , то деформації і внутрішні сили оболонки знаходять за значенням різниці сил $P_0 - P$

Так як безперервність апарату в перерізі стику не повинна порушуватись, то в результаті спільної дії всіх сил (заданих і крайових) краю сполучених оболонок здійснюють однакові лінійні (радіальні) Δ та кутові Θ переміщення (деформації). Ця умова реалізується в рівняннях спільності деформацій

$$\Delta_k^p + \Delta_k^{p_0} + \Delta_k^{M_0} = \Delta_d^p + \Delta_d^{p_0-p} + \Delta_d^{M_0} \quad (4.18)$$

$$\Theta_k^p + \Theta_k^{p_0} + \Theta_k^{M_0} = \Theta_d^p + \Theta_d^{p_0-p} + \Theta_d^{M_0} \quad (4.19)$$

Нижні індекси у знаків деформацій вказують на тип оболонки, до якої вони відносяться (к - корпус, д - днище), а верхня - на вигляд навантаження, що викликає цю деформацію. Для циліндричної оболонки кутова деформація від тиску газу і розпирна сила дорівнюють нулю.

При складанні рівнянь спільності деформацій слід враховувати знаки деформацій:

радіальні переміщення вважаються позитивними, якщо вони спрямовані до осі симетрії оболонки, і негативними, якщо вони спрямовані навпроти;

кутові переміщення вважаються позитивними, якщо вони спрямовані проти обертання годинникової стрілки, та негативними при направленні їх за годинниковою стрілкою.

З розв'язання рівняння спільності деформацій знаходять крайові сили та моменти.

Внутрішні питомі навантаження; меридіональне зусилля S ; кільцеве зусилля T меридіональний момент M ; кільцевий момент K - визначають від кожного виду зовнішнього навантаження окремо (внутрішнього тиску газу, крайових сил, крайових моментів), а потім підсумовують їх. Наприклад, сумарні зусилля та моменти в циліндричній оболонці записуються наступним чином:

$$\begin{cases} S_{\text{ц}} = S_{\text{ц}}^{\text{p}} + S_{\text{ц}}^{\text{p}_0} + S_{\text{ц}}^{\text{M}_0} \\ T_{\text{ц}} = T_{\text{ц}}^{\text{p}} + T_{\text{ц}}^{\text{p}_0} + T_{\text{ц}}^{\text{M}_0} \\ M_{\text{ц}} = M_{\text{ц}}^{\text{p}} + M_{\text{ц}}^{\text{p}_0} + M_{\text{ц}}^{\text{M}_0} \\ K_{\text{ц}} = K_{\text{ц}}^{\text{p}} + K_{\text{ц}}^{\text{p}_0} + K_{\text{ц}}^{\text{M}_0} \end{cases} \quad (4.20)$$

Знаючи сумарні внутрішні навантаження, обчислюють меридіональні та кільцеві напруги за формулами

$$\sigma_s = S/\delta \pm 6 \cdot M/\delta^2 \quad \sigma_t = T/\delta \pm 6 \cdot K/\delta^2 \quad (4.21)$$

Знаки напруг вигину вказують, що на внутрішній поверхні оболонки волокна розтягнуті, але в зовнішньої – стиснуті. При негативних моментах картина змінюється на зворотний.

Оскільки нормальними зусиллями нехтують, умова міцності оболонки апарата записують виходячи з плоского напруженого стану. Наприклад, для еластичних матеріалів, до яких відноситься більшість вуглецевих і легованих сталей, найбільш застосовна четверта енергетична теорія міцності. Тому еквівалентна напруга визначають із виразу

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_1^2 - \sigma_2 \cdot \sigma_1} \leq [\sigma] \quad (4.22)$$

Деформації оболонок також визначають від кожного виду навантаження окремо, а потім їх підсумовують.

Для апарату, навантаженого внутрішнім тиском газу без обліку крайових сил і моментів, меридіональні та кільцеві зусилля, лінійні деформації в площині стику оболонок, кутові деформації для оболонок різної форми будуть визначатися такими залежностями:

для циліндричних оболонок:

$$\begin{cases} S_{\text{ц}}^p = 0,5 \cdot p \cdot r; & T_{\text{ц}}^p = p \cdot r \\ \Delta_{\text{к}}^p = -(2 - \mu)p \cdot \frac{r^2}{2 \cdot \delta \cdot E} & \Theta_{\text{ц}}^p = 0 \end{cases} \quad (4.23)$$

Для вільного краю конічної оболонки

$$\begin{cases} S_{\text{к}}^p = 0,5 \cdot p \cdot r_0 / \cos \alpha; & T_{\text{к}}^p = p \cdot r_0 / \cos \alpha \\ \Delta_{\text{к}}^p = -(1 - \mu)p \cdot \frac{r_0^2}{\delta \cdot E \cdot \cos \alpha} \\ \Theta_{\text{к}}^p = -(p \cdot r_0)(1 - \mu) / (\delta \cdot E \cdot \cos \alpha) \end{cases} \quad (4.24)$$

Для вільного краю сферичної оболонки

$$\begin{cases} S_c^p = T_c^p = 0,5 \cdot p \cdot R \\ \Delta_c^p = -0,5 \cdot (1 - \mu)p \cdot R^2 (\sin \varphi_0) / (\delta \cdot E) \end{cases} \quad (4.25)$$

У наведених формулах:

r – радіус серединної площини циліндричної оболонки;

μ – коефіцієнт Пуассона;

E – модуль пружності першого роду матеріалу оболонки;

α – кут напіврозтину конічної оболонки;

r_0 – найбільший радіус конічної оболонки;

φ_0 – кутова характеристика сферичної оболонки;

R – радіус сферичної оболонки.

Особливістю напруженого стану матеріалу стін оболонки, викликаного крайовими навантаженнями, є зміна значень спричинених ними сил, моментів, напруг і деформацій у міру віддалення від краю оболонки по швидко затухаючій знакозмінній хвилеподібній кривій, що характеризується коефіцієнтом згасання. Для циліндричної та сферичної оболонки коефіцієнти згасання дорівнюватимуть:

$$k_{\text{ц}} = \sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2) / \sqrt{r \cdot \delta}} \quad (4.26)$$

$$k_c = \sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2) / \sqrt{R / \delta}} \quad (4.27)$$

Оскільки дія крайових навантажень поширюється на незначну область у зоні сполучення оболонок, напруги та деформації від них визначають, по-перше,

безпосередньо у зоні сполучення ($x = 0$) і, по-друге, на відстані $x = x_1 = \pi/(4k)$ від зони сполучення (k - коефіцієнт загасання).

Нижче наводяться вирази визначення сил, моментів та деформацій для найважливіших форм оболонок, навантажених по краю рівномірно розподіленими крайовими силами і моментами. Циліндрична оболонка навантажена по краю силами P_0 . Внутрішні сили, моменти та деформації будуть визначатися такими виразами:

на краю ($x = 0$)

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{ц}}^{p_0} &= 0; & T_{\text{ц}}^{p_0} &= 2 \cdot k_{\text{ц}} \cdot r \cdot P_0; & M_{\text{ц}}^{p_0} &= K_{\text{ц}}^{p_0} = 0; \\ \Delta_{\text{ц}}^{p_0} &= -2 \cdot k_{\text{ц}} \cdot r^2 \cdot P_0 / (\delta \cdot E); & \Theta_{\text{ц}}^{p_0} &= 2 \cdot k_{\text{ц}}^2 \cdot r^2 \cdot P_0 / (\delta \cdot E); \end{aligned} \right\} \quad (4.28)$$

На відстані x_1 від краю

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{ц1}}^{p_0} &= 0; & T_{\text{ц1}}^{p_0} &= 0,322 \cdot T_{\text{ц}}^{p_0}; & M_{\text{ц1}}^{p_0} &= 0,322 \cdot P_0 / k_{\text{ц}}; \\ K_{\text{ц}}^{p_0} &= \mu \cdot M_{\text{ц1}}^{p_0}; & \Delta_{\text{ц1}}^{p_0} &= 0,322 \cdot \Delta_{\text{ц}}^{p_0}; & \Theta_{\text{ц1}}^{p_0} &= 0,645 \cdot \Theta_{\text{ц}}^{p_0}; \end{aligned} \right\} \quad (4.29)$$

Конічна оболонка замкнута внизу та навантажена по вільному краю радіальними рівномірно розподіленими силами $P_0 - P$. Розпірна сила, внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю в площині перпендикулярної осі оболонки, і кутова деформація вільного краю дорівнюватиме

$$\left. \begin{aligned} P &= -S_{\text{к}}^p \cdot \sin \alpha; & S_{\text{к}}^{p_0-p} &= -(P_0 - P) \cdot \sin \alpha; \\ T_{\text{к}}^{p_0-p} &= -2 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} \sqrt{\left(\frac{r_0}{\delta}\right) \cos \alpha} (P_0 - P) \\ M_{\text{к}}^{p_0-p} &= 0; & K_{\text{к}}^{p_0-p} &= 0 \\ \Delta_{\text{к}}^{p_0-p} &= \left[2 \cdot r_0 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / (\delta \cdot E) \right] \sqrt{(r_0/\delta) \cos \alpha} (P_0 - P) \\ \Theta_{\text{к}}^{p_0-p} &= \left[2 \cdot r_0 \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / (\delta^2 \cdot E) \right] (P_0 - P) \end{aligned} \right\} \quad (4.30)$$

Конічна оболонка замкнута внизу і навантажена по вільному краю радіальними рівномірно розподіленими моментами M_0 . Внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю в площині перпендикулярної осі оболонки, і кутова деформація краю дорівнюватиме:

$$\left. \begin{aligned} S_K^{M_0} &= 0; & T_K^{M_0} &= 2 \cdot M_0 \sqrt{3(1 - \mu^2)}/\delta; & M_K^{M_0} &= M_0; \\ K_K^{M_0} &= \mu \cdot M_0; & \Delta_K^{M_0} &= -2 \cdot r_0 \cdot M_0 \sqrt{3(1 - \mu^2)}/(\delta^2 \cdot E) \\ \Theta_K^{M_0} &= -4 \cdot M_0 \left[\sqrt[4]{3(1 - \mu^2)} \right]^3 \sqrt{r_0/(\delta \cos \alpha)}/(\delta^2 \cdot E) \end{aligned} \right\} \quad (4.31)$$

Сферична оболонка навантажена по вільному краю радіальними рівномірно розподіленими силами $(P_0 - P)$.

Внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю в перпендикулярній до осі оболонки площині та кутова деформація краю будуть рівні

$$\left. \begin{aligned} P &= -S_c^p \cos \varphi_0; & S_c^{p_0-p} &= -(P_0 - P) \cdot \cos \varphi_0; \\ T_c^{p_0-p} &= -2 \cdot k \cdot (P_0 - P) \cdot \sin \varphi_0; \\ \Delta_c^{p_0-p} &= (2/\delta)(k_c/E)(P_0 - P) \cdot R \cdot \sin^2 \varphi_0; \\ \Theta_c^{p_0-p} &= (2/\delta)(k_c^2/E)(P_0 - P) \cdot \sin \varphi_0; \\ M_c^{p_0-p} &= 0; & K_c^{p_0-p} &\approx -(D/R) \cdot \Theta_c^{p_0-p} \operatorname{ctg} \varphi_0; \end{aligned} \right\} \quad (4.32)$$

де D - Циліндрична жорсткість сферичної оболонки.

Сферична оболонка навантажена вільному краю радіальними, рівномірно розподіленими моментами M_0 Внутрішні сили та моменти, лінійна деформація краю у перпендикулярній до осі оболонки площині та кутова деформація краю дорівнюватимуть:

$$\left. \begin{aligned} S_c^{M_0} &= 0; & T_c^{M_0} &= 2k_c^2 M_0/R; & M_c^{M_0} &= M_0; \\ \Delta_c^{M_0} &= -[2k_c^2/\delta \cdot E]M_0 \sin \varphi_0; & \Theta_c^{M_0} &= -[4k_c^3/(\delta \cdot E \cdot R)]M_0; \end{aligned} \right\} \quad (4.33)$$

З вирішення рівнянь спільності деформацій циліндричної та сферичної оболонок крайові сили та моменти будуть мати наступні залежності:

$$P_0 = \frac{p[1-\mu-(2-\mu)\sin \varphi_0]}{4k_{ц}(1+\sqrt{\sin \varphi_0})\sin \varphi_0} - \frac{pr}{2} \cdot \frac{\sqrt{\sin \varphi_0}}{1+\sqrt{\sin \varphi_0}} \operatorname{ctg} \varphi_0; \quad (4.34)$$

$$M_0 = \frac{p \cdot r}{4k_{ц}} \cdot \frac{\sqrt{\sin \varphi_0}}{1+\sqrt{\sin \varphi_0}} \operatorname{ctg} \varphi_0 \quad (4.35)$$

У разі сполучення циліндричного корпусу та напівсферичного днища крайові сили та крайові моменти дорівнюватимуть:

$$P_0 = -\frac{p}{8k_{ц}}; \quad M_0 = 0; \quad (4.36)$$

У разі сполучення циліндричного корпусу та плоского масивного днища:

$$P_0 = -\frac{p(2-\mu)}{2k_{\text{ц}}}; \quad M_0 = -\frac{p(2-\mu)}{4k_{\text{ц}}^2}; \quad (4.37)$$

У разі сполучення циліндричного корпусу та плоского днища з шарнірною його закладенням для визначення крайового моменту необхідно попередньо знайти кут повороту краю плоского днища, потім скласти рівняння сумісності кутових деформацій корпусу апарату та днища, з якого знайти крайовий момент.

4.3.2 Розрахунок плоских днищ апаратів [8].

Плоскі днища апаратів зустрічаються у вигляді круглих пластин постійної товщини з вільним (шарнірним) або жорстким закріпленням по зовнішньому контуру. При деформації пластинки товщиною h і діаметром $2R$ під дією деякого зовнішнього навантаження кільцевий переріз пластинки, розташований на поточному значенні радіусу від центру пластинки, повертається на кут φ до осі симетрії пластинки і прогинається на величину f . При цьому на кожен елемент пластинки діють: по торцевих гранях — рівномірно розподілені по всій довжині грані в окружному напрямку питомі радіальні моменти M_r і сили, що перерізують Q по бокових гранях — рівномірно розподілені по всій довжині грані в радіальному напрямку питомі кільцеві моменти M_t .

Питомі сили, що перерізують, зазвичай знаходять з умови рівноваги центральної частини пластинки, вирізаної циліндричним перерізом, співвісним з віссю симетрії пластинки і розташованим від неї на поточному значенні радіуса.

Для пластинок, навантажених рівномірно розподіленим по всій площі тиском p , питомі сили, що перерізують, рівні

$$Q = 0,5 \cdot p \cdot r \quad (4.38)$$

Це значення Q входить у розрахункові формули параметрів пластини.

Для пластин із зазначеним навантаженням розрахункові параметри визначають спочатку у центрі пластини (де вони найбільші), а потім на зовнішньому контурі.

У центрі пластини матимемо:

при шарнірному закріпленні пластини за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (3 + \mu); \\ f_0 &= 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 (5 + \mu) / [D(1 + \mu)]; \end{aligned} \right\} \quad (4.39)$$

при жорсткому закріпленні пластини за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= 0; \quad M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} p R^2 (1 + \mu); \\ f_0 &= 1,56 \cdot 10^{-2} p R^4 / D; \end{aligned} \right\} \quad (4.40)$$

На контурі пластини матимемо: при шарнірному її закріпленні по зовнішньому контуру

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / [D(1 + \mu)]; \quad M_{rR} = 0; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot (1 - \mu); \quad f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.41)$$

при жорсткому її закріпленні за зовнішнім контуром

$$\left. \begin{aligned} \varphi_R &= 0; \quad M_{rR} = -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2; \\ M_{tR} &= -12,5 \cdot 10^{-2} p \cdot R^2 \cdot \mu; \quad f_R = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.42)$$

На мінус вказує на те, що нижня частина пластинки в цьому випадку відчуває стиснення.

Максимальний кут повороту нормального перерізу пластини, жорстко заробленою по зовнішньому контуру, дорівнюватиме

$$\varphi_{max} = 2,41 \cdot 10^{-2} p \cdot R^3 / D \quad (4.43)$$

У наведених формулах μ - коефіцієнт Пуассона; D - жорсткість пластини, Н м:

$$D = (E \cdot h^3 / 12) / (1 - \mu^2) \quad (4.44)$$

де: E - модуль пружності першого роду матеріалу пластини Па.

Напруги відповідно в радіальних та окружних перерізах на відстані $\pm h/2$ від серединної площини, де вони досягають своїх максимальних значень, визначаються за виразами

$$\sigma_r = \pm 6M_r / h^2; \quad \sigma_t = \pm 6M_t / h^2; \quad (4.45)$$

Знак (+) вказує на розтяг нижніх шарів, знак (-) - на стиснення верхніх.

Рекомендується, щоб відношення прогину пластини до її товщини задовольняло умові: $f_0/h < (0,2 - 0,5)$

За ГОСТ 14249-80 товщину плоскої круглої пластинки (без отворів), виконаної з листового матеріалу і що знаходиться під дією рівномірно розподіленого по всій площі тиску, рекомендується розраховувати за формулою

$$h = 2 \cdot R \cdot K \sqrt{p/[\sigma]}, \quad (4.46)$$

де: К - коефіцієнт, що залежить від способу кріплення днища (К = 0,38 - 0,50);

$[\sigma]$ – допустима напруга при розтягуванні, $[\sigma] = \sigma / n_b$ σ – межа міцності, n_b – коефіцієнт запасу міцності

4.4.1 Визначення товщини стінок кристалізатора, що працює при внутрішньому тиску.

Розміри кристалізатора приведені на рис 4.2.

Матеріал – нержавіюча сталь 08Х18Н10, який має наступні властивості:

Межа міцності $\sigma = 510$ МПа,

Модуль пружності $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа,

Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,27$

Коефіцієнт запасу міцності $n_b = 3,5$.

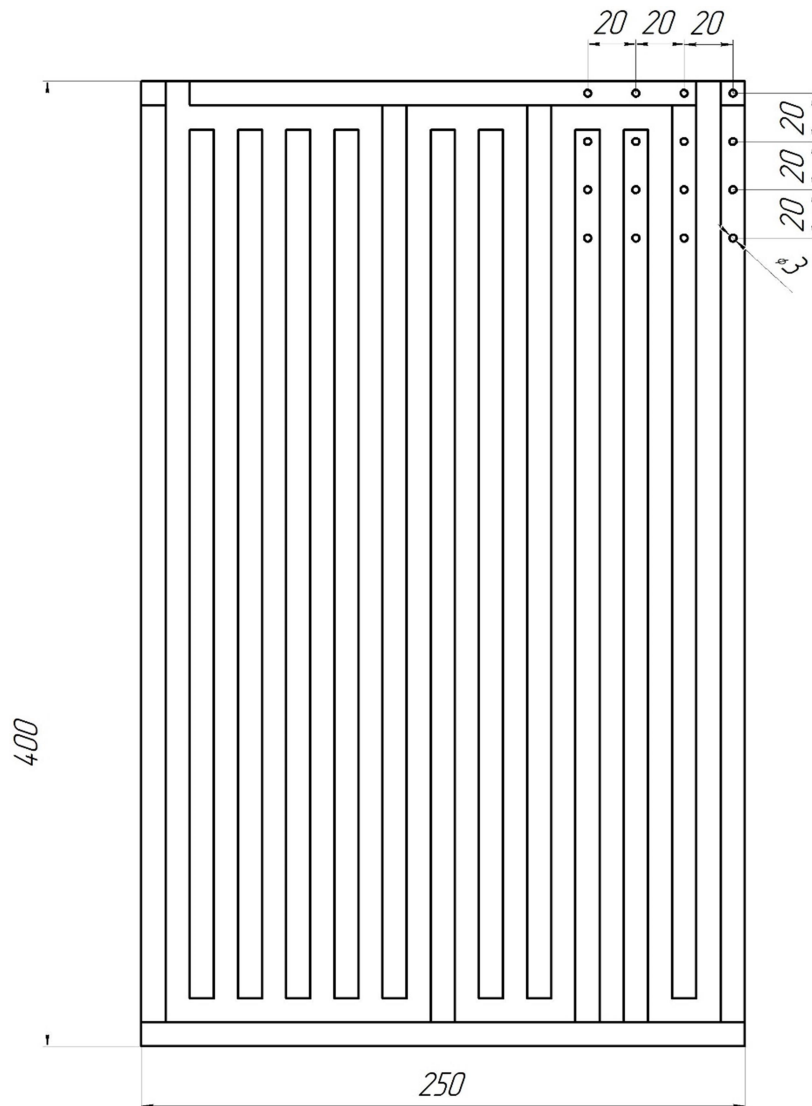


Рис. 4.2. Кристалізатор.

Тиск всередині кристалізатора при роботі в режимі розморожування складає $P = 2,0$ МПа.

Допустима напруга для нержавіюча сталь при розрахунку даного апарату дорівнюватиме

$$[\sigma] = \sigma/n = 510 \cdot 10^6 / 3,5 = 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Орієнтовна товщина днища за формулою (4.41) дорівнює:

$$h = 2 \cdot 0,014 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{2,0 \cdot 10^6 / 145,7 \cdot 10^6} = 0,00131$$

Приймаємо $h = 0,002$ м

Максимальні моменти і напруга буде в центрі стінки. За формулами 4.40 і 4.46 вони будуть дорівнювати

$$M_{r0} = M_{t0} = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,014^2(3 + 0,27) = 80,1 \text{ Н}$$

$$\sigma_r = 6 \cdot 80,1 / 0,002^2 = 120,5 \cdot 10^6 \text{ Па} < 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Визначаємо жорсткість днища з формули 4.44.

$$D = (2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,002^3 / 12) / (1 - 0,27^2) = 151 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Прогинання пластини в центрі буде:

$$f_0 = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,014^4(5+0,27)}{[151(1+0,27)]} = 3,29 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

відношення прогину пластини до її товщини задовольняло умові:

$$3,29 \cdot 10^{-5} / 0,002 = 0,0164 < 0,5$$

4.4.2. Розрахунок зварного з'єднання точковою зваркою.

Розрахунок з'єднань, виконаних контактним зварюванням. З'єднання точковим або шовним контактним зварюванням розраховують за напруженнями зрізу. Для з'єднання на рис. 4.3, а за умови рівномірного розподілу навантаження на всі зварні точки умову міцності записують у вигляді

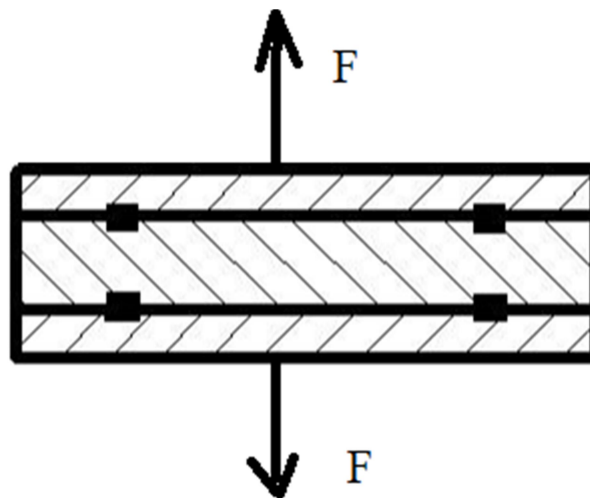


Рис 4.3.Схема для визначення міцності точеної зварки.

Допустима напруга для нержавіюча сталь при розрахунку даного апарату дорівнюватиме

$$[\sigma] = \sigma / n = 510 \cdot 10^6 / 3,5 = 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Сила, яка діє на одну точку точеної зварки

$$F = h^2 \cdot P = 0,02^2 \cdot 2 \cdot 10^6 = 800 \text{ Н}$$

Напруження на кожную точку зварки:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 800}{3,14 \cdot 0,003^2} = 113,7 \cdot 10^6 \text{ Па} < 145,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Оскільки розрахункова напруга менше допустимої, то розрахунок можна вважати закінченим.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ТА КЕРУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ.

Робота холодильної установки протікає за нестационарних умов теплового навантаження на апарати холодильної машини. Тому цікавість у відповідь питання, якою мірою параметри процесів, які у холодильній машині, здатні до відновлення вихідного стану. Це дає можливість у процесах, що протікають при змінних умовах, знайти закономірності, що дозволяють встановити напрямок зміни параметрів, що прагнуть деяких рівноважних станів, полегшує регулювання цих параметрів, а в ряді випадків дозволяє відмовитися від їх регулювання.

Автоматизація холодильних установок передбачає оснащення їх автоматичними пристроями (приладами та засобами автоматизації), за допомогою яких забезпечуються безпечна робота та проведення виробничого процесу або окремих операцій без безпосередньої участі обслуговуючого персоналу або з частковою його участю.

Об'єкти автоматизації разом із автоматичними пристроями утворюють системи автоматизації з різними функціями: контролю, сигналізації, захисту, регулювання та управління. Автоматизація підвищує економічну ефективність роботи холодильних установок, оскільки зменшується чисельність обслуговуючого персоналу, знижується витрата електроенергії, води та інших матеріалів, збільшується термін служби установок внаслідок підтримки автоматичними пристроями оптимального режиму їх роботи. Автоматизація вимагає капітальних витрат, тому проводити її треба, ґрунтуючись на результатах техніко-економічного аналізу.

Холодильне обладнання можна автоматизувати частково, повністю або комплексно. На холодильних установках великої потужності САЗ виконують так, щоб після спрацьовування реле захисту автоматичний пуск елемента, що відмовив, без усунення причини, що викликала зупинку, був неможливий. На

невеликих холодильних установках, наприклад, на підприємствах торгівлі, де аварія не може призвести до тяжких наслідків, немає постійного обслуговування, об'єкт включається автоматично, якщо величина контрольованого параметра повертається в допустиму область.

Різновидом захисту можна вважати блокування, коли, наприклад, компресор може бути включений тільки якщо включений хоча б один водяний насос, що подає воду конденсатор і розсільний насос для систем з проміжним холодоносієм.

Найбільше видів захисту мають компресори, оскільки з досвіду експлуатації 75% всіх аварій на холодильних установках трапляються саме з ними.

Число параметрів, контрольованих САЗ, залежить від типу, потужності компресора та виду холодильного агента

Види захисту компресорів:

від неприпустимого підвищення тиску нагнітання - запобігає порушенню щільності сполук або руйнування елементів;

неприпустимого зниження тиску всмоктування - запобігає підвищенню навантаження на сальник компресора, спінювання масла в картері, замерзання холодоносія випарнику (реле високого та низького тиску, оснащують практично всі компресори);

зменшення різниці тисків (до і після насоса) в масляній системі запобігає аварійному зносу деталей, що труться, і заклинювання механізму руху компресора, реле різниці тисків контролює різницю тисків на стороні нагнітання та всмоктування масляного насоса;

неприпустимого підвищення температури нагнітання - запобігає порушенню режиму мастила циліндра і аварійний знос деталей, що труться;

підвищення температури обмоток вбудованого електродвигуна герметичних та безсальникових хладонових компресорів - запобігає перегріву обмоток, заклинювання ротора та роботу на двох фазах;

Часткова автоматизація передбачає обов'язкову для всіх холодильних установок автоматичний захист, а також контроль, сигналізацію та нерідко керування.

Обслуговуючий персонал регулює основні параметри (температура та вологість повітря в камерах, температура кипіння та конденсації холодильного агента і т.д.)

Відхилення їх від заданих значень та порушення роботи обладнання, про що інформують системи контролю та сигналізації, а деякі допоміжні періодичні процеси (відтавання інею з поверхні охолоджуючих приладів, видалення масла з системи) виконуються вручну.

Повна автоматизація охоплює всі процеси, пов'язані з підтримкою необхідних параметрів в приміщеннях, що охолоджуються, і елементах холодильної установки.

Для забезпечення роботи установки блочного виморожування вибираємо наступне обладнання:

1. Реле тиску, яке виконує функцію захисту холодильної машини від гранично низького тиску в лінії всмоктування при зменшені кількості холодильного агента в системі, або гранично високого тиску в лінії нагнітання у випадку виходу з ладу вентилятора конденсатору або забрудненню самого конденсатора. Тип вибраного реле залежить від рівня тиску в системі.
2. Оглядове вікно, яке дозволяє візуально контролювати наявність та кількість фреону в системі.
3. Програмоване реле часу, яку регулює час роботи холодильної машини, час сепарування, час розморожування.
4. Датчики рівня води в концентраторах.
5. Датчики температури, які дозволяють контролювати режими роботи холодильної машини.

РОЗДІЛ 6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ

6.1 Опис експериментального стенду

Для експериментального дослідження на кафедрі ПО та ЕМ було створено лабораторний стенд (рис 6.1) схема якого зображено на рис 6.2.

Установка складається з чотирьох основних частин, змонтованих на металевому каркасі: концентратора, холодильної машини, кристалізатора та модуля керування.

Експериментальний кріоконцентратор з плоскими кристалізаторами складається з концентратора, в якому знаходиться продукт (5) кристалізатора (4) на якому проходить утворення блока льоду. Кристалізатор є випарником холодильної машини, в яку входить компресор (1), конденсатор (2). Тиск, а відповідно і температуру кипіння холодильного агенту регулюється за допомогою терморегулюючого вентиля (3). Режим розморожування забезпечується подачею парів холодильного агенту в кристалізатор при відкриванні соленоїдного клапану (7)

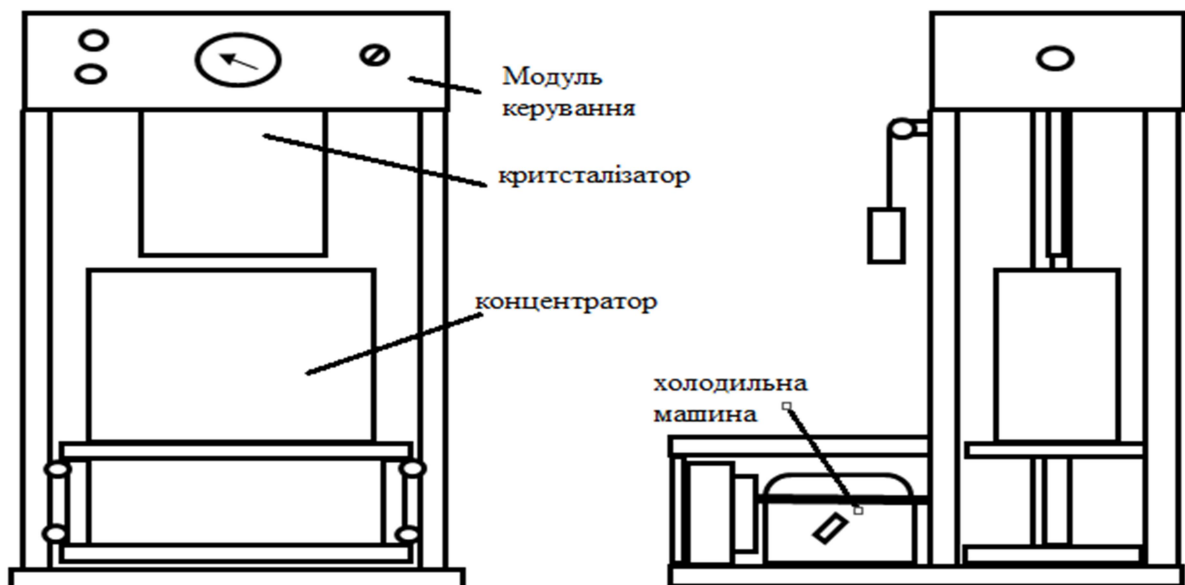


Рис. 6.1. Експериментальний стенд для дослідження процесу концентрування виморожуванням.

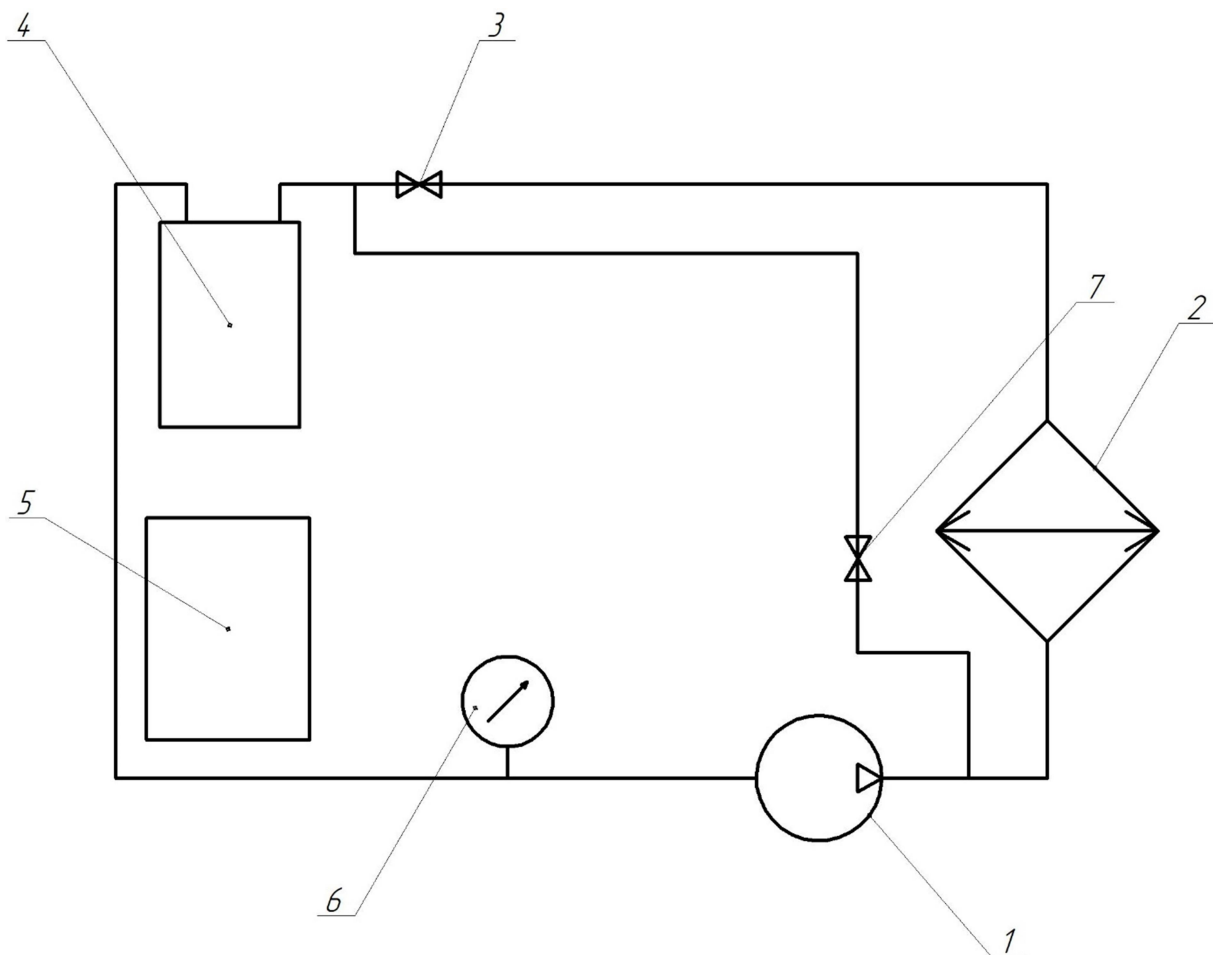


Рис. 6.2

Схема лабораторної установки

1 – компресор, 2 – конденсатор, 3 – терморегулюючий вентиль, 4 – кристалізатор, 5 – концентратор, 6 – манометр, 7 – соленоїдний клапан.

6.2 Прилади, що використовувалися під час дослідження.

Під час проведення експерименту вимірювалися наступні параметри: тривалість експерименту, температуру продукту, тиск і температуру холодильного агенту, маса продукту, концентрацію продукту.

Температуру продукту вимірювалося за допомогою тепловізора.

Тепловізор Flir TG165 - Компактний тепловізор, що дозволяє максимально точно виявляти зміни в температурі на невеликих ділянках. Портативна конструкція полегшує перенесення пристрою, так як воно легко вміщається в

кишені. Зручна ручка з рифленням під пальцями, забезпечує надійне утримання навіть в рукавичках, а міцний корпус запобігає випадковій пошкодженню під час експлуатації.

Використання подвійних лазерних цілевказувачів, дозволяють домогтися високої точності вимірювання температури і точного знаходження теплових аномалій. Пристрій здатний зберігати зображення для їх подальшого аналізу.

Особливість моделі FLIR TG165 в зручному кнопковому управлінні, яке завжди знаходиться під рукою, і невеликому, захищеному екрані. Кнопка включення, розташована під великим пальцем, дозволяє швидко активувати пристрій при необхідності.



Рис 6.3

Тепловізор Flir TG165

Таблиця 6.1

Технічні характеристики тепловізора

Розмір	(В x Ш x Г) 186 x 55 x 94 мм (7,3 x 2,2 x 3,7 дюйма)
Тип дисплея	2,0 дюйма (50,8 мм) TFT LCD

Роздільна здатність дисплея	(Ш x В) 38,720 пікселів (176 x 220)
Акумулятор	Літій-іонний, що перезаряджається через мікро USB: 3.7 В, 2600 мА · год
Функція автоматичного вимкнення живлення	Налаштування роздільної відключення
Час роботи батарей	Типове використання: п'ять 8-годинних робочих днів Безперервне використання 8 годин
Сертифікати	CE / CB / FCC / FDA
Пам'ять	Мікро SD карта на 8 Гб
Робочі температури	Від -10 до 45 ° С
Допустима висота падіння	2 метра
Кріплення на штатив	Від 1/4 до 20 дюймів на нижній частині рукоятки
Комплект	Ремінець, кабель USB, зарядний пристрій (US, UK, EU, AU, CN) мікро SD карта на 8 Гб, технічна документація

Концентрація замірялася за допомогою рефрактометра RX-5000 α -Plus.

Автоматичний рефрактометр RX-5000 α -Plus - найточніший в лінійці автоматичних рефрактометрів ATAGO. Має більш високу точність та широкий діапазон. Покращення торкнулися точності як за показником – індекс рефракції (nD), так і за показником – коефіцієнт заломлення V_nx.

Головні переваги RX-5000 α -Plus:

- Широкий діапазон виміру
- Широкий діапазон температур вимірювання завдяки модулю Пельтьє
- Висока точність

- Сенсорний екран "Touch screen"
- Вбудована функція самодіагностики



Рис. 6.4
Рефрактометра RX-5000α-Plus

Таблиця 6.2

Технічні характеристики рефрактометра RX-5000α-Plus

Тип рефрактометра	автоматичний
Зчитування показників	цифрове
Речовина	широкий діапазон
Діапазон	Показник заломлення (nD): 1.32700 до

	1.58000 Brix: 0.000 до 100.000%
Точність	Показник заломлення (nD): ±0.00002 Brix: ±0.010%
Температурна компенсація (АТС)	Так
Діапазон температурної компенсації	5 ... 60 °С

6.3 Методика проведення експерименту.

Під час проведення дослідів вимірювалися наступні параметри: час проведення дослідів, кількість отриманого концентрату, тиск в апараті, кількість спожитої електроенергії. Отримані дані приведено в таблиці 6.3

Об'єм і масу концентрату визначали, вимірюючи рівень концентрату в кристалізаторі.

$$M = h \cdot f \cdot \rho, \text{ кг} \quad (6.1)$$

Маса блоку льоду

$$M_{\text{л}} = M_{\text{п}} - M \quad (6.2)$$

Знаючи концентрацію концентрату, який визначаємо за допомогою рефрактометра розраховуємо масу нерозчинних речовин

$$M_{\text{ср}} = X \cdot M \quad (6.3)$$

З матеріального балансу по сухим речовинам визначаємо масу нерозчинних речовин в блоці льоду і пористість блоку льоду:

$$M_{\text{ср}}^{\text{л}} = M_{\text{ср}}^{\text{п}} - M_{\text{ср}} \quad (6.4)$$

При обробці бази даних отримали залежність температури, кінцевої концентрації від часу. Які зображено на рис. 6.6-6.8.

Таблиця 6.3.

Результати вимірювань

№	Параметр	Розмірність	Величина
1	Час	с	0-7200
2	Маса продукту	кг	2-8
3	Маса блока льоду	кг	0-6
4	Концентрація концентрату	%	12-25
5	Температура холодильного агента	$^{\circ}\text{C}$	-14 ... -18
7	Питомі витрати енергії.	кДж/ кг	610

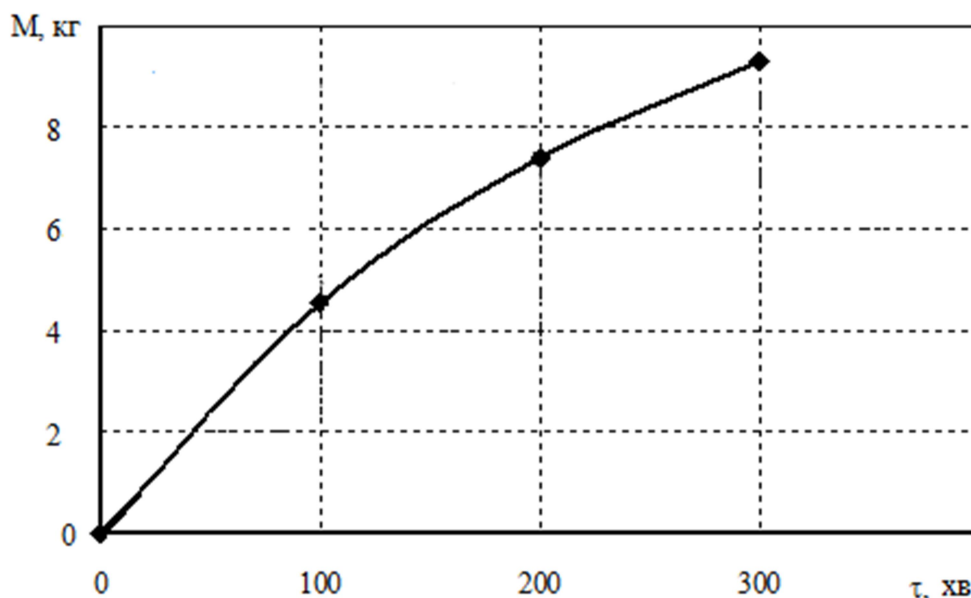


Рис. 6.6. Залежність температури продукту від часу.

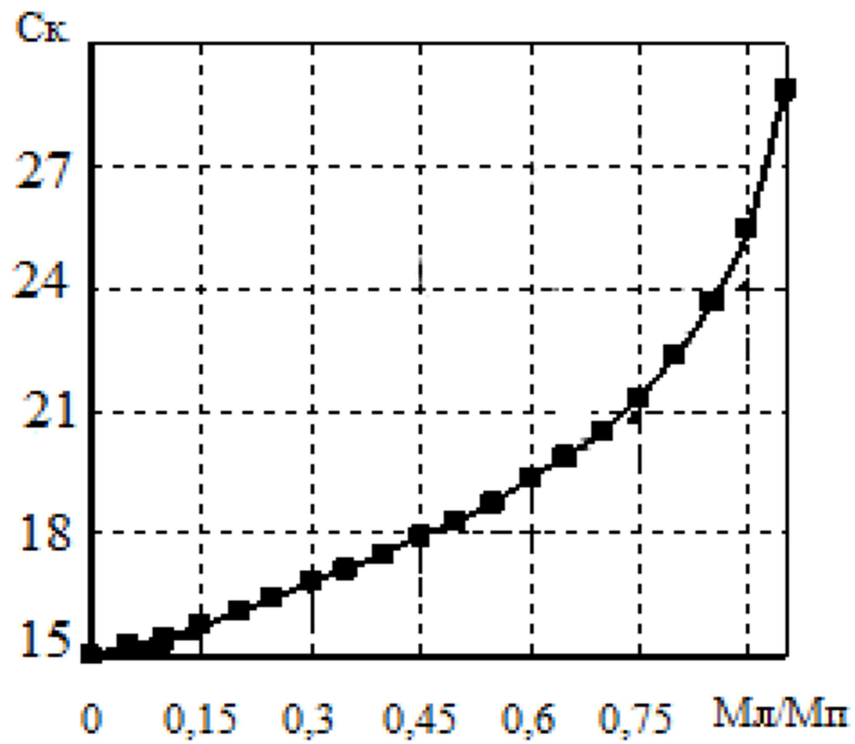


Рис. 6.7. Залежність температури продукту від часу.

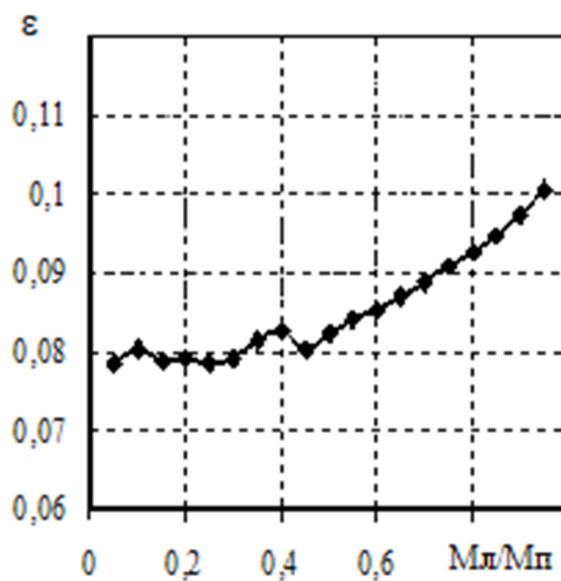


Рис. 6.8. Залежність температури продукту від часу.

РОЗДІЛ 7

ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ БЛОЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА

1. До обслуговування блочного виморожувача допускаються особи, вік яких відповідає встановленим законодавством, які пройшли медичний огляд в установленому порядку і не мають протипоказань до виконання даного виду робіт, що пройшли виробниче навчання за відповідною програмою, перевірку теоретичних знань і практичних навичок безпечних способів роботи і допущені до самостійної роботи в установленому порядку.

Перед допуском до самостійної роботи по суті (надалі - «робочий») повинен пройти стажування протягом перших 2-14 змін (залежно від характеру роботи та кваліфікації працівника) під керівництвом спеціально призначеної особи.

2. Періодичний медичний огляд робочий проходить в порядку, встановленому Міністерством охорони здоров'я.

3. Періодичну перевірку знань з питань охорони праці робітник повинен проходити не рідше одного разу на 12 місяців.

Позачергову перевірку знань з питань охорони праці робітник проходить в наступних випадках:

при перерві за спеціальністю більше одного року;

при переході з одного підприємства на інше;

на вимогу вищого органу, відповідальних осіб підприємства;

на вимогу органів державного нагляду і контролю;

при введенні в дію нових або перероблених нормативних правових актів (документів) з охорони праці;

при введенні в експлуатацію нового обладнання або впровадження нових технологічних процесів.

4. Робочий повинен пройти інструктажі з охорони праці:

при прийомі на роботу - вступний і первинний на робочому місці;

в процесі роботи не рідше одного разу в 6 місяців - повторний;
при введенні в дію нових або перероблених нормативних актів (документів) з охорони праці або внесення змін до них; зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструменту, сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на охорону праці; порушення робочим нормативних правових актів (документів) з охорони праці, які могли привести або привели до травмування, аварії або отруєння; на вимогу державних органів нагляду і контролю, вищого органу, відповідальних осіб підприємства; при перервах в роботі більш ніж 6 місяців; По прибутті інформаційних матеріалів про аварії та нещасні випадки, що трапилися на аналогічних виробництвах - позаплановий.

5. Робочий повинен мати чітке уявлення про небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язаних з виконанням робіт, і знати основні способи захисту від їх впливу. Основні шкідливі і небезпечні фактори:
недостатня освітленість робочої зони, підвищена або знижена температура повітря робочої зони, підвищена температура поверхонь обладнання, можливість ураження електричним струмом, гострі кромки, задирки і шереховатість інструментів і обладнання, підвищена запиленість повітря в робочій зоні.

6. Робочий повинен:
знати вимоги електро- і пожежовибухобезпеки при виконанні робіт і вміти користуватися засобами пожежогасіння;
користуватися при виконанні робіт засобами індивідуального захисту, що видаються відповідно до Типових галузевих норм видачі робітникам і службовцям спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту.

7. Робочий не повинен наражатися на небезпеку і перебувати в місцях виконання робіт, які не належать до безпосередньо виконуваних робіт.

8. Про кожний нещасний випадок на виробництві потерпілий або очевидець негайно повинен повідомити безпосереднього керівника робіт, який зобов'язаний:

організувати першу допомогу потерпілому і його доставку до медичного пункту;
повідомити про те, що трапилося керівнику робіт підрозділу;
зберегти до початку роботи комісії з розслідування обстановку на робочому місці і стан обладнання таким, якими вони були в момент події, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих працівників і не призведе до аварії.

9. Про всі помічені несправності обладнання сушильного відділення робітник повинен повідомити безпосереднього керівника робіт, зробити запис у змінному журналі і до їх усунення до роботи не приступати. Сприяти і співпрацювати з наймачем у справі забезпечення здорових і безпечних умов праці, негайно сповіщати свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу наймача про несправності устаткування, інструменту, пристосувань, транспортних засобів, засобів захисту, про погіршення свого здоров'я.

10. Робочий несе відповідальність за:

виконання вимог технологічних інструкцій, інструкцій заводів-виготовлювачів по експлуатації сушильних установок та інструкції з охорони праці, правил електро- і пожежовибухобезпеки;
дотримання встановленого порядку виконання робіт, ведення змінного журналу;
дотримання внутрішнього трудового розпорядку;
справність та збереження устаткування, що експлуатується сушильного відділення і приладів;
аварії, нещасні випадки та інші порушення, причиною яких стали дії робітника, що порушує вимоги технологічних інструкцій, інструкцій заводів-виготовлювачів по експлуатації сушильних установок і інструкцій з охорони праці.

11. За порушення трудової дисципліни, недотримання вимог нормативно-технічних документів з охорони праці робітник притягується до дисциплінарної відповідальності відповідно до Трудового кодексу.

12. Робочий, що з'явився на роботі в нетверезому стані, в стані наркотичного або токсичного сп'яніння, не допускається в цей день до роботи. Забороняється розпивати спиртні напої, вживати наркотичні засоби, психотропні, токсичні або інші одурманюючі речовини на робочому місці або в робочий час, а також на території організації.

13. Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед тим як почати роботу з холодильним обладнанням слід надіти робочий одяг, при необхідності скористатися захисними засобами.

Робоче місце повинно добре освітлюватися.

Перед включенням блочного виморожувача необхідно:

помити апарат з внутрішньої сторони і з зовнішньої теплим мильно-содовим розчином, після чого чистою водою, насухо протерти м'якою тканиною, холодильник добре провітрити;

не застосовувати для миття апарату абразивні пасти, порошки і миючі засоби, в складі яких знаходяться кислоти, розчинники, а також засоби для миття посуду;

перед підключенням до електромережі блочного виморожувача необхідно провести огляд на відсутність порушення ізоляції мережевого шнура, пошкоджень штепсельних розеток і вилок, замикання струмоведучих частин на корпус холодильника, будь-які виявлені пошкодження та недоліки повинні усунутися механіком сервісної служби.

При установці блочного виморожувача слід залишати простір між стінами і холодильником для вільної циркуляції повітря не менше 5см.

Блочний виморожувач встановлюють у сухому, добре провітрюваному приміщенні, в місці, захищеному від прямих сонячних променів, на відстані не менше 0,5 м від нагрівальних приладів.

РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ.

1. В даному дипломному проекті розроблено низькотемпературний концентратор блочного виморожування для фітопрепаратів.
2. Проведено технологічний розрахунок опріснювача.
3. Проведено теплових розрахунок опріснювача.
4. Проведено розрахунок на міцність опріснювача.
5. Питомі витрати енергії на згущення 1 кг. сировини, за рахунок використання низькотемпературного концентратора блочного виморожування знизилися з 0,264 МДж/кг до 0,153 МДж/кг. або на 42%, що підтверджує доцільність його використання.

Список літератури:

1. <https://umj.com.ua/uk/publikatsia-249269-suchasni-likarski-zasobi-dlya-fitoterapiyi-poglyad-likarya-ta-farmatsevta>
2. <https://vet.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2021/110.pdf>
3. <https://web.kpi.kharkov.ua/nanochem/wp-content/uploads/sites/126/2015/01/Metodychni-vkazivky-TLPPV.pdf>
4. Техника блочного вимораживання О.Г. Бурдо, С.И. Милинчук, В.П. Мордынський, Д.А. Харенко – Одеса « Поліграф», 2011 – 294 с. : ил., табл.
5. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 115818 <https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201612065&doctype=ou>
6. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 140228 <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=265912&chapter=description>
7. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 81626 <https://base.uipv.org/searchINV/getdocument.php?claimnumber=u201214386&doctype=ou>
8. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] : учеб. пособие / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. П. Г. Романкова. — Изд. 10-е, перераб. и доп. — Л. : Химия, 1987. — 576 с.
9. Холодильные установки [Текст] : учебник / И. Г. Чумак, В. П. Чепуренко, С. Ю. Ларьяновский, Г. К. Мнацаканов ; под ред. И.Г. Чумака. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — М. : Агропромиздат, 1991. — 495 с : ил. — (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений)
10. Практикум по курсу "Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств" [Текст] : учебник / С. В. Харламов. — Л. : Машиностроение, 1971. — 200 с.
11. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів що навчаються за спец. 181 "Харчові технології", освіт.-проф. програмою "Технології зберігання, консервування та переробки м'яса", ступенем вищ. освіти – бакалавр та магістр, ден. і заоч. форм навчання / Укладач С.М. Дідух – Одеса, ОНАХТ, 2017. – 44 с.
<http://kaf.ep.ontu.edu.ua/wp-content/uploads/diploma/metod-dp-myaso-diduh.pdf>