ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

РЕМІННА ЛЮДМИЛА ПЕТРІВНА

УДК 664.8.037.063.94

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНЕ КОНЦЕНТРУВАННЯ ЕКСТРАКТІВ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса-2008

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, **Коваленко Олена Олександрівна**, Одеська національна академія харчових технологій, кафедра процесів та апаратів, доцент кафедри

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор, **Чепурненко Віктор Павлович,** Одеська державна академія холоду, кафедра холодильних машин та установок, професор кафедри

– кандидат технічних наук, доцент **Зав'ялов Володимир Леонідович**, Національний університет харчових технологій, кафедра процесів і апаратів харчових виробництв та технології консервування, доцент кафедри

Захист відбудеться 5 грудня 2008 р. о 13.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112 в ауд. А-234.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий 4 листопада 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., професор К. Г. Іоргачова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Екстракти із рослинної сировини знаходять широке застосування в харчовій, фармацевтичній та парфумерній промисловостях. Застосування якісних екстрактів дозволяє розширювати асортимент продукції, підвищувати її харчову цінність та профілактично-лікувальну дію, покращувати показники економічної ефективності виробництва. В зв'язку з цим актуальним залишається питання розробки технологій та обладнання для отримання екстрактів з максимальним збереженням нативних властивостей сировини при прийнятних грошових витратах. Вирішенням цієї проблеми займаються вчені Харківського державного університету харчування та торгівлі, Національного університету харчових технологій, Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ, Одеса) та інші. Одним із напрямків такої діяльності є вдосконалення існуючих та розробка нових способів концентрування екстрактів. Зокрема, в ОНАХТ, для цього запропоновано використовувати блочні виморожувачі, оскільки вони дозволяють в значній кількості зберігати біологічно-активні речовини при загальних витратах, співвідносних з витратами в інших способах концентрування.

Вивченню процесів блочного виморожування води із розчинів присвячені наукові роботи вчених Бурдо О.Г., Аль-згул-Бассама, Мілінчука С.І., Бурдо А.К., Тележенко Л.М., Осипової Л.А., Радіонової О.В., Євдокимової О.О., Коваленко О.О та інших. В цих дослідженнях вирішувалися задачі по створенню математичної моделі процесів тепло- і масообміну при виморожуванні води із харчових розчинів на поверхні вертикальних трубчастих кристалізаторів в умовах природної та вимушеної конвекції та вдосконаленню методик розрахунку апаратів з такою конструкцією кристалізатора; по зниженню термічного опору блоку льоду та підвищенню енергетичної і технологічної ефективності процесу виморожування; по формуванню напрямків вдосконалення та класифікації способів інтенсифікації процесів в блочному виморожувачі. Зокрема, пошуковими дослідженнями встановлено, що застосування виморожуючих установок з горизонтальними кристалізаторами та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною може підвищувати інтенсивність процесу виморожування на 20…30 %, а тому вони розглядаються як перспективні. Разом з тим перехід до проектування промислових зразків виморожуючих установок з такою конструкцією потребує проведення комплексу аналітичних та експериментальних досліджень, які дозволять розробити методику розрахунку установок та визначити режими їх експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі процесів та апаратів протягом 2005 - 2008 років і в проблемній науково-дослідній лабораторії Одеської національної академії харчових технологій відповідно до держбюджетної тематики: «Теория и техника низкотемпературного разделения жидких систем пищевых производств» (№ держреєстрації 0106U001442).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є створення методики розрахунку блочних

виморожувачів з горизонтальним пластинчастим кристалізатором та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною для концентрування екстрактів, а також обґрунтування режимів роботи таких установок.

Для розв'язання поставленої мети сформульовано наступні завдання:

–створити математичну модель процесів тепло- і масообміну в блочних виморожувачах з горизонтальним пластинчастим кристалізатором та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною;

–дослідити зміну густини екстрактів шипшини, мускатного горіха, гвоздики в залежності від масової частки розчинних речовин і температури екстракту, а також дослідити умови фазової рівноваги екстрактів при виморожуванні з них води;

–вивчити кінетику процесів блочного виморожування води із екстрактів на нижній поверхні горизонтальних кристалізаторів в умовах природної конвекції в розчині та при перемішуванні розчину за допомогою вібруючої перфорованої пластини;

–дослідити процес гравітаційного сепарування блоку льоду, отриманого в установках вказаних вище конструкцій;

–оптимізувати режимні та конструктивні параметри виморожуючої установки;

–розробити конструктивну схему багатомодульного блочного виморожувача;

–виконати економічне обґрунтування щодо застосування блочних виморожувачів нової конструкції;

–провести апробацію кріоекстрактів та пілотного зразку виморожуючої установки.

Об'єкт дослідження: процеси тепло- і масообміну в блочних виморожувачах з горизонтальним пластинчастим кристалізатором та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною.

Предмет дослідження: густина та умови рівноваги між твердою і рідкою фазами при кристалізації води в екстрактах, математична модель процесів тепло- та масообміну, кінетика процесів блочного виморожування води із екстрактів та гравітаційного сепарування блоку льоду, конструктивні схеми, методики розрахунку, режимні та конструктивні параметри установок, а також техніко-економічні характеристики виморожуючих установок.

Методи досліджень: методи теплофізичного моделювання; теорія подібності, метод аналізу розмірностей, експериментальні методи з використанням контрольно-вимірювальних приладів та аналітичні дослідження з використанням ПЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів. В результаті аналітичних та експериментальних досліджень вперше доведені наукові положення:

1. Формування блоку льоду з меншим вмістом розчинних речовин можливе при однаковій спрямованості градієнтів концентрацій і температур та напрямку дії гравітаційної сили.

2. Експлуатація виморожуючої установки при визначених в результаті оптимізації режимних та конструктивних параметрах дозволить підвищити ефективність процесу низькотемпературного концентрування екстрактів.

Також вперше:

- створена математична модель процесів тепло- і масообміну при блочному виморожуванні води із розчинів на нижній поверхні горизонтального кристалізатора та в умовах вібруючої в розчині перфорованої пластини;
- отримані кріоскопічні криві водних екстрактів шипшини, кориці, мускатного горіха, гвоздики та рівняння для розрахунку зниження температури замерзання цих розчинів в залежності від масової частки розчинних в них речовин;
- встановлені залежності густини водних екстрактів шипшини, гвоздики та мускатного горіха від масової частки розчинних в них речовин та їх температури;
- встановлені кінетичні закономірності процесів низькотемпературного концентрування екстрактів при виморожуванні з них води на нижній поверхні горизонтального пластинчастого кристалізатора, та при застосуванні вібруючої перфорованої пластини;
- отримані критеріальні рівняння для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі від розчину до фронту кристалізації при зазначених вище умовах;
- розроблено методику розрахунку процесів тепло- і масообміну в блочних виморожувачах з горизонтальним кристалізатором та з вібруючою у розчині пластиною;
- розроблена нова конструктивна схема багатомодульної виморожуючої установки.

Практичне значення отриманих результатів. З використанням розробленої методики проведена оптимізація режимних та конструктивних параметрів виморожуючої установки з горизонтальним пластинчастим кристалізатором та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною і сформовані рекомендації щодо раціональних режимів їх експлуатації при концентруванні екстрактів. Розроблена методика також використана для розрахунку техніко-економічних показників чотирьохмодульної виморожуючої установки з продуктивністю 200 кг / цикл по вихідному екстракту при умовах її роботи на різних температурних режимах.

Зразки кріоекстрактів і пілотна установка апробовані на підприємствах ПП ФІРМА «ГАРМАШ» та ТОВ «Ланжерон и К». Для умов зазначених виробництв розраховані показники економічної ефективності.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі літературних джерел за темою досліджень, проведенні експериментальних досліджень, обробці та аналізі отриманих результатів, формуванні висновків та пропозицій, підготовці матеріалів досліджень до опублікування, виступах з доповідями на конференціях та участі у впровадженні результатів роботи. Розробка математичних

моделей, планування експериментальних досліджень, розробка методики розрахунку та конструкції промислового зразка чотирьохмодульної виморожуючої установки з горизонтальними кристалізаторами виконувалась разом з керівником.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: щорічних науковихконференціях ОНАХТ в 2005 – 2008 рр.; ІІ міжнародній науково-технічній конференції «Харчові технології – 2006» (Одеса, 2006); на XI та XII міжнародних наукових конференціях «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (Одеса, 2006, 2008 рр.); міжнародній науково-практичній конференції школи-семінару «Повышение энергетической эффективности пищевых и химических производств» (Одеса, 2007); 73-ій та 74-ій наукових конференціях молодих вчених, аспірантів та студентів «Наукові здобутки молоді вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (Київ, НУХТ, 2007 – 2008 рр.); на третій міжнародній науково-практичній конференції «Наукові дослідження – теорія та експеримент 2007» (Полтава, 2007); на 5 міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми харчування: технологія і обладнання, організація і економіка» (Святогірськ, 2007); на VI міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів «Техника и технология пищевых производств» (Республіка Білорусь, Могильов, МДУП, 2008); на Всеукраїнському науково-технічному семінарі «Удосконалення малої хладотеплотехніки і забезпечуваних нею технологічних процесів» (Донецьк, 2008).

Зразки концентрованих виморожуванням продуктів представлялися на VI-VIII Міжнародних спеціалізованих виставках-симпозіумах «Вино і виноробство» (Одеса, 2006-2008 рр.), на VI національній виставці високих технологій та конкурентноспроможної продукції «Укртехнологія-2007» (Київ, 2007), на конференції-виставці «Социально-экономические аспекты энергоэффективности» (Одеса, 2008).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи, одержані результати та рекомендації з їх використанням повністю відображені у 23 друкованих працях, з них 9 публікацій у фахових виданнях, 2 деклараційних патенти України на корисну модель, 1 позитивне рішення на видачу патенту, 4 статті у наукових виданнях та 7 тез доповідей на науково-технічних та міжнародних конференціях.

Структура та об'єм роботи. Робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, що включає 178 найменувань вітчизняних та зарубіжних авторів на 21 сторінках та 6 додатків на 30 сторінках. Робота викладена на 148 сторінках основного тексту, містить 65 рисунків на 34 сторінках та 19 таблиць на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено загальну характеристику роботи – актуальність теми, зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і задачі досліджень, наукові положення, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача, представлена апробація дисертаційної роботи та її структура, подана кількість публікацій.

В першому розділі «Теорія, техніка і перспективи використання виморожуючих установок для концентрування екстрактів рослинної сировини» показано, що для підвищення біологічної та харчової цінності продуктів харчування, а також для створення продуктів з лікувально-профілактичним призначенням доцільно використовувати екстракти рослинної сировини. Наведена порівняльна характеристика різних способів концентрування екстрактів та показані переваги використання виморожуючих установок для підвищення масової частки розчинних речовин в екстрактах. Представлені фізичні основи процесу виморожування води із розчинів, наведена класифікація та характеристика обладнання для кристалізації води із розчину та сепарування твердої фази. Наведена схема та принцип роботи блочного виморожувача, вказані його переваги серед іншого обладнання та можливі напрямки застосування. Представлений аналіз наукових досліджень по процесам блочного виморожування води із розчинів. Показано, що у зв’язку з ростом інтересу до технологій концентрування харчових розчинів виникає необхідність в удосконаленні конструкції виморожуючих установок, а також в інтенсифікації процесів з метою збільшення продуктивності установок, зниження питомого енергоспоживання в процесі виморожування, а також отримання водного льоду з мінімальним вмістом розчинних речовин. Одними з таких способів інтенсифікації є організація процесу виморожування на нижній поверхні горизонтального кристалізатора та виморожування на горизонтальному кристалізаторі із вібруючою у розчині перфорованою пластиною. Але для промислової реалізації таких способів, а також для виробництва промислових зразків обладнання необхідно провести комплекс аналітичних та експериментальних досліджень, розробити методику розрахунку виморожуючих установок та визначити режими їх експлуатації. В результаті виконаного літературного аналізу сформульовані мета та завдання досліджень.

У другому розділі «Методологічні основи аналітичних та експериментальних досліджень» наведено основні напрямки дослідної роботи та послідовність їх вирішення. Наведені характеристики методів математичного моделювання процесів тепло- і масообміну у виморожуючій установці, експериментальні методики визначення кінетичних закономірностей процесів при блочному виморожуванні води із екстрактів, умов рівноваги між твердою і рідкою фазами при кристалізації води в екстрактах та досліджень густини екстрактів. Представлені характеристики експериментальних стендів. Також наведені методики узагальнення експериментальних досліджень, оптимізації та оцінки похибок досліджень.

У третьому розділі «Моделювання процесів переносу тепла та маси у виморожуючих установках з горизонтальним кристалізатором та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною» представлені фізичні моделі виморожуючих установок вказаних конструкцій та наведені балансові моделі для матеріальних та теплових потоків в таких установках. Загальна кількість теплоти, яка відводиться холодоносієм в процесі низькотемпературного концентрування екстрактів у виморожуючій установці з горизонтальним кристалізатором, складається з кількості теплоти, яка витрачається на охолодження розчину до кріоскопічної температури, на кристалізацію води із розчину, на охолодження блоку льоду до кінцевої температури, яка нижче кріоскопічної, на охолодження стінок кристалізатора, ємності для розчину та ізоляції та на компенсацію втрат теплоти в навколишнє середовище. Особливістю балансової моделі для теплових потоків в установці з вібруючою пластиною є врахування кількості теплоти, яка відводиться від поверхні пластини в процесі її охолодження, а також врахування величини дисипації механічної енергії. Масообмін в виморожуючій установці відображається рівнянням масовіддачі від розчину до фронту кристалізації.

Аналіз рівнянь, що описують тепло- і масообмін у виморожуючих установках показав, що для їх практичного застосування необхідним є отримання залежностей для розрахунку середніх коефіцієнтів масовіддачі від розчину до фронту кристалізації ($\overline{\beta}_{\text{â}}$, м/с) як для умов виморожування води на нижній поверхні горизонтального кристалізатора, так і при виморожуванні в умовах вібруючої у розчині перфорованої пластини. Необхідними також є відомості про умови рівноваги між фазами при кристалізації води в екстрактах ($t_{кр}$, °С) та теплофізичні властивості екстрактів.

Для умов виморожування на нижній поверхні горизонтального кристалізатора, а також для умов виморожування на горизонтальному кристалізаторі із вібруючою у розчині перфорованою пластиною вид рівняння для розрахунку процесу масовіддачі було отримано з використанням принципів теорії подібності і методу аналізу розмірностей. Було прийнято, що коефіцієнт масовіддачі при блочному виморожуванні води на поверхні горизонтального кристалізатору залежить від: товщини зазору між фронтом кристалізації і паралельної йому внутрішньої поверхні ємності ($\partial_р$, м); коефіцієнту дифузії переважаючого компоненту у розчині (D, м^2/с); густини розчину ($c_р$, кг/м^3); динамічного коефіцієнту в'язкості ($м_р$, кг/(м·с)); різниці між концентраціями розчинних речовин біля фронту кристалізації та в ядрі розчину ($\Delta\ \overline{C}$, кг/м^3); прискорення вільного падіння (g, м/с^2); конструктивних параметрів кристалізатору – довжини ($l_к$, м) та ширини ($b_к$, м). Після розв'язання системи рівнянь, складеної для основних одиниць розмірності вказаних параметрів, і пошуку комбінацій безрозмірних комплексів одержано структуру рівняння в узагальнених змінних:

$$\mathrm{Sh} = C \cdot (\mathrm{Gr})^e \cdot (\mathrm{Sc})^k \cdot \mathrm{K}_1^g \cdot \mathrm{K}_2^h, \quad (1)$$

де Sh, Sc, Gr – числа подібності Шервуда, Шмідта, Грасгофа дифузійного відповідно; K_1 та K_2 – безрозмірні параметри, які враховують конструктивні особливості установки та розраховуються так: $\mathrm{K}_1 = l_к / \delta_р$ та $\mathrm{K}_2 = b_к / \delta_р$; C, e, k, g, h – константа та показники ступеню, які визначаються в результаті математичної обробки комплексу експериментальних даних.

При формуванні структури рівняння для розрахунку процесу масовіддачі в розчині при виморожуванні води на горизонтальному кристалізаторі із вібруючою у розчині перфорованою пластиною в якості незалежних параметрів були прийняті наступні: $д_р$, $c_р$, $м_р$, D, $l_к$, $b_к$, швидкість потоку розчину, проникаючого крізь пори перфорованої пластини ($\upsilon_р$, м/с); амплітуда (A, м) і частота коливань вібруючої пластини (f, $с^{-1}$); площа поверхні перфорованої пластини ($F_{пл}$, $м^2$); площа поверхні отворів у пластині ($F_{отв}$, $м^2$); еквівалентний діаметр перерізу каналу для потоку рідини ($d_{ек}$, м). Швидкість руху розчину, проникаючого крізь пори поверхні розраховували як $\upsilon_р = f \cdot A \cdot (F_{отв}/F)$.

Аналогічним чином, як і у випадку з моделюванням процесу масовіддачі в розчині в умовах виморожування води на нижній поверхні горизонтального кристалізатора, було одержано структуру рівняння в узагальнених змінних для умов виморожування води на нижній поверхні горизонтального кристалізатора та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною:

$$\mathrm{Sh} = N \cdot (\mathrm{Re}_{еф})^a \cdot (\mathrm{Sc})^b \cdot \mathrm{K}_1^c \cdot \mathrm{K}_2^d \quad (2)$$

де N, a, b, c, d – константа та показники ступеню, які визначаються в результаті математичної обробки комплексу експериментальних даних; $\mathrm{Re}_{еф}$ – ефективне число Рейнольдса. Використання $\mathrm{Re}_{еф}$ обумовлено необхідністю врахування енергії, що передається розчину від пластини, яка рухається та енергії, що передається частинкам розчину внаслідок дії сил гравітації.

В якості визначаючих параметрів для розрахунку чисел подібності (рівняння 1 та 2) прийняті середня температура розчину та середня масова частка розчинних речовин у розчині.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження процесів у виморожуючій установці» представлені результати експериментальних досліджень умов рівноваги між твердою і рідкою фазами при кристалізації води в екстрактах, густини екстрактів, а також кінетики процесів виморожування та сепарування. В розділі також наведені результати математичної обробки та узагальнення експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження умов рівноваги між рідкою і твердою фазою при кристалізації води проводились для екстрактів шипшини, кориці, мускатного горіха, гвоздики. Результати цих досліджень представлені у вигляді кривих охолодження екстрактів та кривих, що відображають

зниження температури замерзання розчину ($t_{кр}$, єС) в залежності від масової частки розчинних речовин (рис. 1). Математична обробка експериментальних даних виконана з використанням прикладного математичного пакету «*Excel*». Результати такої обробки представлені у вигляді регресійних рівнянь для визначення $t_{кр}$. При експериментальних дослідженнях густини екстрактів вивчався характер її зміни ($c_р$, кг/м^3) в залежності від температури розчину $t_р$ та масової частки розчинних в ньому речовин $ш_р$. Математична обробка експериментальних даних здійснювалась за допомогою пакету «*Statistica».* Результати досліджень представлені у вигляді графічних залежностей, одна з яких наведена на рис. 2 та регресійних рівнянь для визначення $c_р$.

Для дослідження кінетики процесів блочного виморожування використовувались екстракти шипшини, кориці і гвоздики, дистильована вода та водні розчині сахарози. В ході кінетичних експериментальних досліджень процесів тепло- і масообміну у виморожуючій установці з горизонтальним пластинчастим кристалізатором вивчався вплив температурного режиму роботи установки ($\bar{t}_{хл}$, єС), початкової масової частки розчинних у розчині речовин ($\omega_р^п$, %), початкової температури розчину ($t_р^п$,°С) на зміну в процесі виморожування середньої масової частки розчинних у розчині речовин ($\bar{\omega}_р$, %); середньої температури розчину ($\bar{t}_р$,°С); поточного об'єму розчину ($V_р$, м^3) і середньої товщини блоку льоду ($\bar{\delta}_{бл}$, м). Виморожування здійснювалось на нижній поверхні горизонтального пластинчастого кристалізатора із нержавіючої сталі довжиною $l_к$=0,285 м, шириною $b_к$=0,15 м та товщиною $\delta_к$=0,002 м. На основі отриманих даних розраховувалися ступінь концентрування розчину ($\omega_р^к / \omega_р^п$), масова частка розчинних речовин у розплаві блоку льоду ($\omega_{бл}$, %), об'єм ($V_{бл}$, м^3) та маса блоку льоду ($m_{бл}$, кг). Режимні умови, при яких проводилися зазначені вище кінетичні експериментальні дослідження, змінювалися в таких діапазонах: $\omega_р^п$ – від 5 до 40 %; $V_р^п$ – від 0,0030 до 0,0047 м^3; $t_р^п$ – від 4,5 до 23 °С; $\bar{t}_{хл}$ – від мінус 6 ° до мінус 20 °С; $\bar{t}_{о.с.}$ – від 15 до 20 °С. Деякі результати експериментальних досліджень кінетики виморожування води із водного розчину сахарози та екстрактів на нижній поверхні горизонтального кристалізатора представлені у вигляді графічних залежностей (рис. 3). Залежності відображають зміну кінетичних параметрів розчину (рис. 3 а, б) і вимороженої фази (рис. 3 в, г) протягом процесу виморожування. Умовні позначення до рис. 3 представлені в табл. 1.

Аналізуючи результати кінетичних досліджень процесу блочного виморожування води із

розчинів на нижній поверхні горизонтального кристалізатора, можна відмітити наступне:

– із збільшенням $\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ для умов $\bar{t}_{\text{хл}}$, $V_{\text{р}}^{\text{п}}$, $t_{\text{р}}^{\text{п}}$, τ = *const* значення показників $\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ та $\bar{\delta}_{\text{бл}}$ зменшується, а значення $\omega_{\text{бл}}$ збільшується. Наприклад, при збільшенні $\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ в два рази через τ =10800 с значення $\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ зменшується в 1,14 рази (криві 1 та 4, рис. 3а), значення параметру $\bar{\delta}_{\text{бл}}$ зменшується в 1,18 рази (криві 8 та 12, рис. 3 в), а значення $\omega_{\text{бл}}$ збільшується в 1,7 рази (стовпчики 3 та 6, рис. 3 г);

– із збільшенням $t_{\text{р}}^{\text{п}}$ для умов $\bar{t}_{\text{хл}}$, $V_{\text{р}}^{\text{п}}$, $\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$, τ = *const* значення показників $\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$, $\bar{\delta}_{\text{бл}}$ зменшується, а показника $\omega_{\text{бл}}$ – збільшується. Наприклад, при виморожуванні води із екстракту гвоздики з $\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$=5 %, $V_{\text{р}}^{\text{п}}$=0,0041 м³ при $\bar{t}_{\text{хл}}$=-10 °С та протягом 10800 с збільшення $t_{\text{р}}^{\text{п}}$ з 4 до 23 °С призводить до зменшення в 1,17 рази показнику

2022253797374656d0000044000000d2570000802211000 4ee8339e82499010c020000040000002d010000040000000201010005000000090200

$\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ (криві 9 та 8, рис. 3 а), та до зниження значення параметру $\bar{\delta}_{\text{бл}}$ в 1,62 рази (криві 9 та 8, рис 3в);

– із зниженням $\bar{t}_{\text{хл}}$ для умов $t_{\text{р}}^{\text{п}}$, $V_{\text{р}}^{\text{п}}$, $\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$, τ = *const* значення показника $\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ зменшується, а показників $\bar{\delta}_{\text{бл}}$, $\omega_{\text{бл}}$ – збільшується. Також із зниженням $\bar{t}_{\text{хл}}$ інтенсифікується процес теплообміну в розчині. Наприклад, при виморожуванні води із екстракту шипшини з $\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$=5 %, $V_{\text{р}}^{\text{п}}$=0,0030 м³, $t_{\text{р}}^{\text{п}}$=7 °С та протягом τ =10800 с значення показнику $\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ при $\bar{t}_{\text{хл}}$=- 9 єС складає 1,85, при $\bar{t}_{\text{хл}}$=- 13 єС – 1,77, а при $\bar{t}_{\text{хл}}$=- 17 єС – 1,72 (криві 1, 2, 3, рис. 3 а). При аналогічних умовах значення $\omega_{\text{бл}}$ збільшується з 0,48 до 1,51 % (стовпчики 1, 2, 3, рис. 3 г).

При дослідженні кінетики процесу виморожування в установці з вібруючою у розчині пластиною вивчався вплив частоти коливань ($f_{\text{пл}}$, Гц) і поверхневої пористості пластини ($П_{\text{пл}}$, %) на зміну параметрів розчину та вимороженої фази. При цьому, температурні режими роботи установки та початкові параметри розчину варіювалися в діапазонах, аналогічних діапазонам зміни цих параметрів при дослідженнях в установках з горизонтальним кристалізатором. А

параметри $f_{пл}$ та $П_{пл}$ змінювалися в таких діапазонах: $f_{пл}$ від $0{,}33 \cdot 10^{-2}$ до $11{,}67\ 10^{-2}$ Гц, $П_{пл}$ від 21 до 60 %. Амплітуда коливань пластини змінювалась в діапазоні від 20 мм до 40 мм в залежності від частоти коливань. Експериментальні дослідження кінетики проводилися на двох пластинах із $П_{пл}$ 44 та 60 %. Отримані результати порівнювались з результатами попередніх пошукових досліджень для пластини з $П_{пл}$=21 %. Результати експериментальних досліджень представлені у вигляді графічних залежностей, деякі з яких наведені на рис. 4 та на рис. 5. Умовні позначення до рис. 4 представлені в табл. 2.

В результаті аналізу отриманих залежностей встановлено, що:

– при виморожуванні води із розчинів на нижній поверхні горизонтального кристалізатора та з вібруючою у розчині пластиною значення $\omega_{р}^{к} / \omega_{р}^{п}$ збільшується.

Наприклад, для розчину з параметрами $\omega_{р}^{п}$=12 %, $t_{р}^{п}$=7 єС, $V_{р}^{п}$=0,0041 м^{3,}, який виморожується в установці при $\bar{t}_{хл}$=-17 єС та протягом τ=10800 с без вібруючої пластини значення $\omega_{р}^{к} / \omega_{р}^{п}$ складає 1,62 (крива 4, рис. 4 а). А для розчину, який виморожується в установці з вібруючою у розчині пластиною при частоті $f_{пл}$=0,0833 Гц, при аналогічних початкових параметрах розчину та температурному режимі виморожування ступінь концентрування розчину складає 1,8 (крива 3, рис. 4 а);

– при збільшенні $f_{пл}$ для умов $\bar{t}_{хл}$, $V_{р}^{п}$, $\omega_{р}^{п}$, $\tau = const$ значення показнику $\omega_{р}^{к} / \omega_{р}^{п}$ збільшується, розчин охолоджується інтенсивніше та до більш низької температури, а $\bar{\delta}_{бл}$ знижується. Наприклад, при виморожуванні води із розчину з $\omega_{р}^{п}$=12 %, $t_{р}^{п}$=7 єС, $V_{р}^{п}$=0,0041 м^{3} при $\bar{t}_{хл}$ =-17 єС та протягом τ=3600 с збільшення $f_{пл}$ з 0,0033 до 0,0833 Гц призводить до збільшення показнику $\omega_{р}^{к} / \omega_{р}^{п}$ розчину в 1,07 рази (криві 1 та 3, рис. 4 а), розчин охолоджується інтенсивніше в 2 рази та до більш низької температури (криві 1 та 3, рис. 4 б), а $\bar{\delta}_{бл}$ знижується в 1,7 рази (криві 1 та 3, рис 4 в);

– збільшення поверхневої пористості вібруючої пластини в межах від 21% до 44 % інтенсифікує процеси тепло- та масообміну, а в межах від 44 % до 60 % навпаки – зменшує. Наприклад, збільшення поверхневої пористості пластини від 21 % до44 % при виморожуванні води з розчинів з параметрами, вказаними на рис. 5 а, через проміжок часу τ

=3600 с призводить до зростання в 1,1 рази показнику $\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ (криві 2 та 3, рис. 5 а), збільшення в 3 рази інтенсивності охолодження розчину (криві 2 та 3, рис. 5 в), зростання в 1,27 рази $\bar{\delta}_{\text{бл}}$ (криві 2 та 3, рис. 5 б), але до зниження в 1,1 рази показнику $\omega_{\text{бл}}$ (криві 2 та 3, рис. 5 г). Та подальше збільшення $П_{\text{пл}}$ вібруючої пластини з 44 % до 60 % вже через проміжок часу τ =7200 с призводить до зменшення в 1,06 рази показнику $\omega_{\text{р}}^{\text{к}}/\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ (криві 3 та 4, рис. 5 а), до зменшення в 1,12 рази $\bar{\delta}_{\text{бл}}$ (криві 3 та 4, рис. 5 б) та до збільшення в 1,19 рази $\omega_{\text{бл}}$ (криві 3 та 4, рис. 5 г).

– використання вібруючої перфорованої пластини дозволяє скоротити тривалість процесу на 20 – 30 хв., порівняно з виморожуванням води із розчинів на поверхні горизонтального кристалізатора в умовах природної конвекції.

Важливим с точки зору підтвердження ефективності запропонованих способів виморожування є дослідження процесів сепарування. В ході експериментальних досліджень аналізувалась зміна в часі параметрів стікаючого (в умовах сил гравітації та при температурі навколишнього середовища) з блоку льоду розчину (далі стоків), а також їх залежність від умов виморожування. Результати цих досліджень представлені у вигляді кривих, що відображають зміну в часі об'єму стоків ($V_{\text{ст}}$, м^3) та масової частки розчинних в них речовин ($\omega_{\text{ст}}$, %). Зазначені криві наведені на рис. 6, а умовні позначення до кривих на рис. 6 представлені в табл. 2. Аналіз отриманих залежностей дозволив сформулювати наступні закономірності процесу:

–при гравітаційному сепаруванні з блоку льоду стікає концентрований екстракт, при цьому через годину процесу сепарування $V_{\text{ст}}$ – мінімальний, а $\omega_{\text{ст}}$ – максимальна. Це обумовлено тим, що на початку процесу сепарування з блоку льоду стікає концентрований розчин, який знаходився в приграничному шарі. Але далі разом із стікаючим концентрованим розчином відбувається плавлення поверхневу шару блоку льоду, тому $\omega_{\text{ст}}$ зменшується, а $V_{\text{ст}}$ збільшується;

– виморожування з вібруючою у розчині перфорованою пластиною сприяє утворенню більш щільної структури блоку льоду, що в свою чергу відображається в утворенні стоків з меншою $\omega_{\text{ст}}$. Наприклад, виморожування води із розчину з такими початковими параметрами $\omega_{\text{р}}^{\text{п}}$ =12%, $V_{\text{р}}^{\text{п}}$ =0,0042 м^3, $t_{\text{р}}^{\text{п}}$ =6,5 єС протягом τ =7200 с при $\bar{t}_{\text{хл}}$ =-17єС та з вібруючою у розчині пластиною при частоті $f_{\text{пл}}$ =0,0833 Гц призводить до зменшення в 1,45 рази значення показнику $\omega_{\text{ст}}$ та до зменшення в 1,35 рази значення показнику $V_{\text{ст}}$ (крива 3, рис. 6) порівняно з виморожуванням без турбулізації розчину пластиною (крива

4, рис. 6).

– збільшення $f_{пл}$ пластини сприяє утворенню меншої кількості $V_{ст}$ з меншою $\omega_{ст}$. Наприклад, виморожування води із розчину з такими початковими параметрами $\omega_{р}^{п}$=12%, $V_{р}^{п}$=0,0042 м^3, $t_{р}^{п}$=6,5 єС протягом τ=7200 с при $\bar{t}_{хл}$=-17єС та з вібруючою у розчині пластиною при частоті $f_{пл}$=0,0833 Гц призводить до зменшення в 1,3 рази значення показнику $\omega_{ст}$ та до зменшення в 1,29 рази показнику $V_{ст}$ (крива 3, рис. 6) порівняно з виморожуванням при частоті $f_{пл}$=0,0033 Гц (крива 1, рис. 6).

Узагальнення результатів кінетичних досліджень по процесам масовіддачі в розчинах представлено у вигляді критеріальних рівнянь, які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати узагальнення експериментальних кінетичних досліджень

Умови здійснення процесу виморожування	Критеріальні рівняння	Похибка розрахунку за рівнянням
на нижній поверхні горизонтального кристалізатора	$Sh=8\cdot 10^{14}\cdot (Gr\cdot Sc)^{-0,80}\cdot K^{0,52}$ $18165<Sh<162000$; $3,5\ 10^{12}<(Gr\cdot Sc)<8,5\ 10^{13}$; $4,5<K<9,5$	до 17 %
на нижній поверхні горизонтального кристалізатора та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною	$Sh=3\cdot 10^{4}\cdot Re^{0,32}\cdot Sc^{0,47}\cdot K^{-2,19}$ $995<Re<4228$; $4836<Sc<5627$; $4,5<K<10,18$; $147180<Sh<559050$	до 20 %

На основі аналізу результатів кінетичних експериментальних досліджень сформульовані практичні рекомендації щодо температурного режиму проведення процесу низькотемпературного концентрування екстрактів та режимів процесу сепарування блоку льоду. Для екстрактів з $\omega_{р}$ в діапазоні від 5 до 15 % процес доцільно здійснювати при $\bar{t}_{хл}$=-6…-9 єС, в діапазоні з 15 до 25 % – при $\bar{t}_{хл}$=-10…-15 єС, в діапазоні з 25 до 40 % – при $\bar{t}_{хл}$=-17…-20 єС. Процес сепарування рекомендується проводити наступним чином: протягом перших 60 – 70 хв. збираються стоки, які далі змішуються з концентрованим розчином і сприяють підвищенню виходу кінцевого продукту на 5 – 15 %. А протягом наступних 60 – 180 хв. збираються стоки, які повертаються на концентрування з початковим екстрактом, що в свою чергу зменшує втрати розчинних речовин з вимороженим блоком льоду в 2 – 3 рази. Для визначення доцільного частотного режиму вібруючої пластини, а також доцільного значення поверхневої пористості пластини проведена оптимізація,

результати якої наведені в наступному розділі.

У п'ятому розділі «Інженерні методи розрахунку блочних виморожувачів з горизонтальним кристалізатором та з інтенсифікатором» наведена інженерна методика розрахунку апаратів запропонованої конструкції, яка включає наступні етапи: визначення теплофізичних властивостей екстрактів та зниження температури їх замерзання; розрахунок процесів тепло- і масообміну в апараті; розрахунок конструктивних та техніко-економічних параметрів виморожуючих установок. Методики базуються на результатах аналітичних та експериментальних досліджень, представлених в розділах 3 і 4.

За допомогою отриманої методики та з використанням сучасного прикладного пакету системи *Matlab «Optimization Toolbox»* проведена багатопараметрична оптимізація режимного параметру процесу виморожування та конструктивного параметру установки. При оптимізації вирішувалася задача, яка передбачала визначення доцільного режиму вібрації пластини ($f_{пл}$) та її поверхневої пористості ($П_{пл}$) при фіксованому температурному режимі роботи установки з горизонтальним кристалізатором та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною. В якості критерію оптимізації використовувався показник (C, грн/кг), який характеризує вартість загальних витрат на процес отримання шляхом виморожування 1 кг концентрованого розчину. При цьому маса розчину перераховувалася на одиницю маси абсолютно сухої речовини. В ході вирішення поставленої задачі оптимізація параметрів здійснювалася шляхом мінімізації функції $C=f(f_{пл}, П_{пл}, \omega_{р}^{п})\rightarrow min$. В процесі оптимізації незалежні параметри змінювалися в наступних діапазонах $\omega_{р}^{п}$ від 5 до 40 %; $f_{пл}$ – від $0{,}33\cdot10^{-2}$ до $11{,}67\ 10^{-2}$ Гц та $П_{пл}$ – від 21 до 60 %. Один із результатів оптимізації параметрів представлений на рис. 7, а узагальнення результатів оптимізації представлено у вигляді номограми на рис. 8. Номограма відображає зміну оптимальних (за показником C) значень параметрів $f_{пл}$ та $П_{пл}$ в залежності від початкової масової частки розчинних речовин в розчині та дозволяє визначати режими експлуатації установки. Оскільки значення оптимальних параметрів $f_{пл}$ та $П_{пл}$ для екстрактів з $\omega_{р}^{п}$ від 5 до 40 % незначно змінюються (так $f_{пл}$ від 0,083 до 0,096 Гц, а $П_{пл}$ від 43 до 43,8 %), то в якості доцільних з практичної точки зору (виготовлення пластини та регулювання режиму її вібрації) рекомендовано наступні їх значення: $f_{пл}$ – 0,089 Гц, а $П_{пл}$ – 43,5 %.

З врахуванням отриманих в дисертаційній роботі результатів розроблена конструктивна схема чотирьохмодульного блочного виморожувача з горизонтальним пластинчастим кристалізатором та з продуктивністю по вихідному екстракту 200 кг/год.

Зразки кріоекстрактів мускатного горіха та кориці апробовані в умовах підприємств ПП

ФІРМА «ГАРМАШ» при виробництві варених ковбас «Докторська», «Останкінська», «Теляча із вершками», а випробування пілотної установки проводились разом з представниками фірми ТОВ «Ланжерон и К» на кафедрі процесів та апаратів ОНАХТ. З використанням існуючих методик, економічно обґрунтована доцільність використання виморожуючих установок із запропонованою конструкцією в умовах вище названих підприємств. Орієнтовна вартість виморожуючих установок із зазначеною продуктивністю складатиме від 80795 до 98950 грн, а вартість концентрованих екстрактів, наприклад шипшини з $u_р$=30%, складатиме 35 грн/кг продукції. Термін окупності капіталовкладень при проектуванні блочного виморожувача з горизонтальним кристалізатором становитиме 1,97 роки, а при проектуванні блочного виморожувача з інтенсифікатором – 2,1 роки.

Висновки

1. На підставі виконаних аналітичних та експериментальних досліджень, розроблена методика розрахунку блочних виморожувачів з горизонтальним кристалізатором та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною для низькотемпературного концентрування екстрактів рослинної сировини. З використанням розробленої методики проведена оптимізація режимних та конструктивних параметрів виморожуючих установок та визначені доцільні режими їх експлуатації.
2. Розроблена математична модель процесів блочного виморожування, що складається з балансових та кінетичних рівнянь, які описують тепло- та масообмін у виморожуючих установках вказаних конструкцій.
3. Отримані графічні залежності та рівняння для розрахунку густини екстрактів шипшини з масовою часткою розчинних речовин в діапазоні від 5 до 30 %, а також екстрактів мускатного горіха та гвоздики з масовою часткою розчинних речовин в діапазоні від 2 до 10 % в залежності від їх температури. Також визначені криві охолодження і кріоскопічні криві екстрактів та отриманні рівняння для розрахунку зниження температури їх замерзання.
4. Встановлені закономірності, які відображають вплив температурного режиму роботи установки, початкових параметрів розчину, частоти коливань та перфорації пластини на поточні параметри рідкої та твердої фази, які утворюються в процесі виморожування. Також визначені залежності зміни параметрів стоків, які утворюються в процесі гравітаційного сепарування блоків льоду, отриманих в установках з горизонтальним кристалізатором та з вібруючою у розчині пластиною.
5. Отримані критеріальні рівняння для розрахунку процесу масовіддачі в блочних виморожувачах: $Sh=8\cdot 10^{14}\cdot (Gr\cdot Sc)^{-0,80}\cdot K^{0,52}$ – виморожування на нижній поверхні

горизонтального кристалізатора; $Sh=3\cdot 10^{4}\cdot Re^{0,32}\cdot Sc^{0,47}\cdot K^{-2,19}$– виморожування на нижній поверхні горизонтального кристалізатора та з вібруючою у розчині перфорованою пластиною.

6. Створена номограма, яка відображає оптимальні за показником *C* (грн/кг) параметри виморожуючої установки – частоту вібрації перфорованої пластини ($f_{пл}$) та поверхневу пористість пластини ($П_{пл}$).
7. Визначені доцільні режими процесу низькотемпературного концентрування екстрактів у виморожуючих установках з горизонтальним кристалізатором і з вібруючою у розчині пластиною: для екстрактів з $\omega_р$ в діапазоні від 5 до 15 % процес доцільно здійснювати при $\bar{t}_{хл}$ =-6…-9 єС, в діапазоні від 15 до 25 % – при $\bar{t}_{хл}$ =-10..-15 єС, в діапазоні від 25 до 40 % – при $\bar{t}_{хл}$ =-17…-20 єС. А при застосуванні виморожуючої установки з вібруючою пластиною в якості доцільного рекомендовано наступний режим: $f_{пл}$=0,089 Гц, $П_{пл}$ =43,5 %. Процес сепарування необхідно розділити на два за тривалістю етапи з метою збору стоків з різною концентрацією розчинних речовин і їх різним подальшим призначенням. Тривалість першого етапу – 60 - 70 хвилин, а призначення отриманих стоків – підвищення виходу концентрованого продукту. Тривалість другого етапу від 60 до 180 хвилин, призначення стоків – зменшення втрат розчинних речовин з вимороженим блоком льоду.

8. Розроблена конструктивна схема багатомодульного блочного виморожувача та розраховані техніко-економічні характеристики установки із запропонованою конструкцією та з продуктивністю по вихідному екстракту – 200 кг за цикл.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Коваленко Е.А. Математическое моделирование процессов массопереноса в вымораживающей установке / Е.А. Коваленко, Л.П. Реминная // Темат. зб. наук. пр. «Обладнання та технології харчових виробництв». – Донецьк: ДонНУЕТ, 2008. – Вип.19. – С. 271 – 277.
2. Коваленко Е.А. Обобщение результатов экспериментальных исследований по процессам низкотемпературного концентрирования экстрактов / Е.А. Коваленко, Л.П. Реминная // Зб. наук. праць ОНАХТ. – Одеса: 2008. – Вип. 32. – С. 159 – 163.
3. Реминная Л.П. Исследование кинетики блочного вымораживания воды из экстрактов на горизонтальном кристаллизаторе / Л.П. Реминная, О.Г. Бурдо, Е.А. Коваленко // Зб. наук. пр. ОНАХТ. – Одесса, 2007. – Вип. 30. – Т. 1. – С. 164 – 169.
4. Реминная Л.П. Влияние исходных параметров раствора на кинетику процессов вымо-

раживания // Зб. наук. пр. ОНАХТ. – Одесса, 2007. – Вип. 30. – Т. 2. – С. 320 – 324.

5. Криоконцентрирование соков и экстрактов / Е.А. Коваленко, О.Б. Васылив, Л.Н. Токарева, Л.П. Реминная // Зб. наук. пр. ОНАХТ. – Одесса, 2006. – Вип. 28. – Т. 2. – С. 130 – 135.
6. Коваленко О.О. Технології виморожування води із розчинів та їх роль у вирішені актуальних проблем харчових виробництв / О.О. Коваленко, О.О. Євдокимова, Л.П. Ремінна // Аграрний вісник Причорномор'я. – Вип. 37. – Одеса: Імідж - Прес, 2007. – С. 134 – 137.
7. Коваленко Е.А. Теплофизические свойства экстрактов на основе растительного сырья / Е.А. Коваленко, О.Б. Васылив, Л.П. Реминная // Вісн. Харк. нац. техн. унів-ту сільс. госп-ва ім. Петра Василенка: наук. вид. / Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2006. – Вип. 45. – С. 86 – 91.
8. Коваленко О.О. Кріотехнології. Можливості їх застосування у харчовій промисловості /

   О.О. Коваленко, О.О. Євдокимова, Л.П. Ремінна // Харч. і перер. пром-ть. – 2007. – № 8 – 9. – С. 27 – 29.
9. Коваленко О.О. Дослідження впливу конструкції кристалізатора при блочному виморожуванні води із харчових розчинів / О.О.Коваленко, Л.П. Ремінна // Зб. наук. пр. ХДУХТ «Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі». – Харків, 2007. – Вип.1 (5). – С. 368 – 375.
10. Деклараційний патент України на корисну модель № 23132, МПК A 23 L2/08. Спосіб отримання шляхом виморожування концентрованих рідких продуктів / О.Г. Бурдо, О.О. Коваленко,

    С.І. Мілінчук, Л.П.Ремінна (Україна). - № u 2006 13021; Заявл.11.12.2006; опубл. 10.05.2007, Бюл.№ 6.
11. Деклараційний патент України на корисну модель № 34280, МПК A 23 L 2/08. Спосіб отримання концентрованих рідких продуктів шляхом виморожування / О.Г. Бурдо, О.О. Коваленко, Л.П. Ремінна (Україна). – № u 2008 01496; Заявл.05.02.2008; опубл. 11.08.2008, Бюл.№ 15.
12. Позит. рішення на заявку № u 2008 05661.Установка для низькотемпературного концентрування рідких продуктів / О.Г. Бурдо, О.О. Коваленко, Л.П. Ремінна. Заявл. 30.04.08.
13. Коваленко Е.А. Экспериментальные исследования и обобщение по процессам массопереноса в блочном вымораживателе с горизонтальным кристаллизатором / Е.А. Коваленко, Л.П. Реминная // Мат. межд. науч. конференции XII «Совершенствование про-

цессов и оборудования пищевых и химических производств. – Одесса, 2008. – С. 252 – 256.

14. Реминная Л.П. Применение способа блочного вымораживания для концентрирования экстрактов растительного сырья// Зб. наук. пр. молодих учених, асп. та студ. ОНАХТ. – ОНАХТ: Одеса, 2007.– С.103 – 105.
15. Реминная Л.П. Кинетика процесса концентрирования экстрактов в блочном вымораживателе с горизонтальным кристаллизатором / Л.П. Реминная, О.Г. Бурдо, Е.А. Коваленко // Мат. межд. науч. – практ. конф. «Повышение энергетической эффективности пищевых и химических производств». – Одесса: 2007. – С. 108 – 113.
16. Реминная Л.П. Технические и технологические аспекты технологии концентрирования экстрактов растительного сырья путём вымораживания из них воды / Л.П. Реминная, Е.А. Коваленко // Мат. III міжн. наук.-практ. конференції. – Полтава, 2007. – Т. 6. – С. 91 – 94.
17. Реминная Л.П. Моделирование процессов массоотдачи в растворе при вымораживании его в условиях низкочастотных механических колебаний // Зб. тез студентських наукових праць «Техніка та технологія харчових виробництв». – Донецьк, ДонНУЕТ, 2008. – Вип. 2. – С. 35 – 37.
18. Драгонер И. Кинетика процесса блочного вымораживания воды из экстрактов шиповника / И. Драгонер, Е.А. Коваленко, Л.П. Реминная // Зб. тез студентських наукових праць «Техніка та технологія харчових виробництв». – Донецьк, ДонНУЕТ, 2008. – Вип.2. – С. 33 – 35.
19. Ремінна Л.П. Інтенсифікація процесу блочного виморожування води із розчинів за допомогою механічних коливань / Л.П., Ремінна, О.О. Коваленко // Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка» – Донецьк, ДонДУЕТ, 2007. – С. 105.
20. Коваленко Е.А. Концентрирование вымораживанием экстрактов на основе растительного сырья / Е.А. Коваленко, Л.П. Реминная // Тези доп. II міжн. наук. – практ. конф. «Харчові технології – 2006» – Одеса. – 2006. – С. 70.
21. Ремінна Л.П. Вплив виду поверхні кристалізатора на процеси блочного виморожування води із

харчових розчинів/ Л.П. Ремінна, О.О. Коваленко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: Програма і матеріали 73-ї наук. практ. конф. молод. вчених, аспірантів і студентів. – К.:НУХТ, 2007. – Ч. II. – С. 149.

2 Ремінна Л.П. Вплив поверхневої пористості пульсуючої у розчині мембрани на кінетику блочного виморожування води із харчових розчинів / Л.П. Ремінна, О.О. Коваленко //

Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: Програма і матеріали 74-ї наук. практ. конф. молод. вчених, аспірантів і студентів. – К.:НУХТ, 2008. – С. 380.

2 Реминная Л.П. Моделирование процессов в блочном вымораживателе с горизонтальным кристаллизатором // Тр.VI международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств»– Могилёв, Республика Беларусь, 2008. Ч 2. – С.119 – 120.

Особистий внесок здобувача в наукові роботи:

Проаналізовано доцільність використання концентрованих екстрактів у харчовій промисловості, а також здійснено аналіз існуючих технологій концентрування [6, 8, 14, 16, 20], проведено експериментальне дослідження умов рівноваги між твердої та рідкої фазами при кристалізації води в екстрактах та густини екстрактів [5, 7]. Проведено моделювання процесів при блочному виморожуванні води із розчинів у виморожуючій установці з горизонтальним кристалізатором
[1, 23] та з вібруючою в об'ємі розчину пластиною [17]. Вивчено кінетику процесів виморожування [3, 4, 15, 18] та вплив конструкції кристалізатора на зміну параметрів розчину та твердої фази [9, 10, 21]. Досліджена кінетика інтенсифікації процесу виморожування за допомогою вібруючої у розчині пластини [11, 19], а також проаналізовано вплив поверхневої пористості пластини на кінетику процесу [22]. Узагальнено результати досліджень та отримано критеріальні рівняння для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі [2, 13]. Запропоновано конструктивну схему промислового чотирьохмодульного блочного виморожувача з горизонтальним пластинчастим кристалізатором [12].

АНОТАЦІЯ

Ремінна Л.П. «Низькотемпературне концентрування екстрактів рослинної сировини». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв, Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України**,** Одеса, 2008.

Дисертаційна робота присвячена розробці методики розрахунку блочних виморожувачів з горизонтальним кристалізатором та з вібруючою перфорованою пластиною для концентрування екстрактів рослинної сировини, а також визначенню доцільних режимів їх експлуатації.

Розроблена математична модель процесів блочного виморожування, яка описує тепло- та масообмін у виморожуючих установках вказаних конструкцій. Представлені експериментальні результати досліджень зниження температури замерзання, а також густини екстрактів в залежності від масової частки розчинних в них речовин. Наведені графічні залежності та сформовані закономірності, які відображають вплив температурного режиму роботи установки, початкових параметрів розчину, частоти вібрації та поверхневої пористості пластини на поточні параметри рідкої та твердої фази. Представлені критеріальні рівняння для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі при блочному виморожуванні води із розчинів при зазначених умовах. Наведені методики розрахунку кінетичних, конструктивних та техніко-економічних параметрів блочного виморожувача вказаної конструкції. Представлена конструктивна схема чотирьохмодульного блочного виморожувача та розрахунок техніко-економічних характеристик установки із запропонованою конструкцією з продуктивністю по вихідному екстракту – 200 кг за цикл.

Ключові слова: екстракти рослинної сировини, концентрування, блочне виморожування, інтенсифікація, вібрація, математичне і експериментальне моделювання, узагальнення, оптимізація.

АННОТАЦИЯ

Реминная Л.П. «Низкотемпературное концентрирование экстрактов растительного сырья». – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых, микробиологических и фармацевтических производств, Одесская национальная академия пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2008.

В работе, на основе выполненных аналитических и экспериментальных исследований, разработана методика расчета блочных вымораживателей с горизонтальным кристаллизатором и с вибрирующей в растворе перфорированной пластиной для низкотемпературного концентрирования экстрактов растительного сырья. С использованием разработанной методики проведена оптимизация режимных и конструктивных параметров вымораживающих установок и определены рациональные режимы их эксплуатации.

Разработана математическая модель процессов блочного вымораживания, которая описывает тепло- и массообмен в вымораживающих установках указанной конструкции. Представлены экспериментальные результаты исследований снижения температуры замерзания, а также плотности экстрактов (шиповника, гвоздики, мускатного ореха) в зависимости от массовой доли растворимых веществ. Также представлены уравнения для расчёта таких температур и плотности экстрактов. Приведены графические зависимости и сформулированы закономерности, которые отоб-

ражают влияние температурного режима работы установки, начальных параметров раствора, частоты вибрации и поверхностной пористости пластины на текущие параметры жидкой и твёрдой фазы. Результаты обобщения кинетических экспериментальных исследований представлены в виде критериальных уравнений для расчёта коэффициентов массоотдачи при блочном вымораживании воды из растворов при указанных условиях.

Представлены результаты экспериментальных исследований процесса гравитационного сепарирования блока льда, который образуется в процессе концентрирования. Рекомендовано проводить процесс сепарирования следующим образом: на протяжении 60 –70 минут собираются стоки, которые дальше смешиваются с концентрированным раствором и в результате чего повышается выход конечного продукта на 5 – 15 %. А на протяжении следующих 60 – 180 минут собираются стоки, которые возвращаются на концентрирование с начальным экстрактом, что в свою очередь, уменьшает потери растворимых веществ с вымороженным блоком льда в 2 – 3 раза.

Все приведенные аналитические и экспериментальные исследования послужили основой для создания методики расчёта вымораживающих установок с горизонтальным кристаллизатором и с вибрирующей перфорированной пластиной. Разработанная методика включает этапы определения теплофизических свойств экстрактов, снижения температуры их замерзания в зависимости от массовой доли растворимых веществ, расчёта процессов тепло- и массообмена в аппаратах, а также их конструктивных и технико-экономических параметров. На основе экспериментальных исследований рекомендовано процесс низкотемпературного концентрирования экстрактов проводить при следующих режимах: для экстрактов с $\omega_{\text{р}}$ в диапазоне от 5 до 15% процесс целесообразно осуществлять при $\bar{t}_{\text{хл}}$=-6…-9 єС, в диапазоне с 15 до 25 % – при $\bar{t}_{\text{хл}}$=-10…-15 єС, в диапазоне с 25 до 40 % – при $\bar{t}_{\text{хл}}$=-17…-20 єС.

С использованием разработанной методики проведена оптимизация режимных и конструктивных параметров вымораживающей установки с вибрирующей в растворе пластиной и определён рациональный частотный режим вибрации пластины – $f_{\text{пл}}$=0,089 Гц, и её поверхностная пористость – $П_{\text{пл}}$ =43,5 %.

Представлена конструктивная схема четырёхмодульного блочного вымораживателя и рассчитаны технико-экономические характеристики установки с предложенной конструкцией и с производительностью по исходному экстракту – 200 кг за цикл. Результатами апробации криоэкстрактов и пилотной установки, а также результатами экономических расчётов обоснована целесообразность использования вымораживающих установок предложенной конструкции на предприятиях пищевой промышленности.

Ключевые слова: экстракты растительного сырья, концентрирование, блочное вымораживание, интенсификация, вибрация, математическое и экспериментальное моделирование, обобщение, оптимизация.

ANNOTATION

Reminna L.P. «Low temperature concentration of vegetable raw material extracts». – Manuscript.

The dissertation for searching a scientific degree of Candidate of Technical Sciences on speciality 05.18.12 – The processes and the equipments of food, microbiological and pharmaceutical productions, Odessa National Academy of Food Technologies of the Ministry of education and science of Ukraine, Odessa, 2008.

The dissertational work is devoted to the elaboration of calculation methods for outfreezers with the horizontal crystallizer and vibrating perforation plate for the vegetable raw material extracts concentration, and also the determination of the corresponding regimes of the installations exploitation.

The experimental results of the outfreezing temperatures and the extracts' density in dependence of mass particle of the substances dissolved in them have been presented. The calculation equations for such temperatures and extracts' density have been also presented. Graphical dependences and formulated conformities which describe the temperature regimes influence of the installation work, the initial parameters of the solution, the vibration rate and the surface porosity of the plate on current parameters of liquid and solid phases have been shown. The results of kinetic experimental investigations generalization are presented in criterial equations for the coefficient calculations of mass produce in the block water outfreezer out of the solutions under definite conditions. The calculation methods of kinetic, constructive and technico-economical parameters of the block outfreezer of the above mentioned construction have been given.

Key words: extracts of vegetable raw materials, concentration, block outfreezing, intensification, vibration, mathematical and experimental modelling, generalization, optimization.

Підписано до друку 31.10.08 р. Формат 60х90/16.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №
Видавничий центр Одеської національної академії харчових технологій
65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112