

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“__” _____ 2023р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)

магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи «Розробка випарного апарату із системою об’ємного підведення енергії»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Вертелецький О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
 РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗНЕВОДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ.....	5
1.1. Проблеми українського АПК у зв'язку із глобальними світовими викликами	5
1.2. Аналіз техніки і технологій зневоднення харчової сировини.	6
1.3. Основні процеси зневоднення	6
1.4 Традиційна техніка зневоднення	7
1.5 Інноваційна техніка зневоднення	8
1.6 Конструктивні особливості та характеристики сучасних випарних апаратів	8
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	14
 РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	15
2.1 Принципова схема інноваційного випарного апарату	15
2.2 Характеристика об'єкту та предмету досліджень.	16
2.3 Методи експериментального дослідження.	18
2.4 Загальні положення	19
2.5 Проект модуля	20
2.6 Узагальнення результатів досліджень.	31
2.7 Оптимізація мікрохвильової модульної випарної установки.	33
 РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	36
3.1 Розробка карти безпеки праці	36
3.2 Утилізація відходів виробництва	37

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	38
4.1 Впровадження МХ ВВМ для удосконалення ліній при виробництві харчових концентратів	38
4.2 Економічний ефект впровадження МХ ВВА	44
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	49
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.	51

РЕФЕРАТ

Вертелецький О.В. Розробка випарного апарату із системою об'ємного підведення енергії (Кваліфікаційна робота, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 55 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 12 рисунки, 6 таблиць, 38 джерела літератури).

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню процесу концентрування розчинів за рахунок дії мікрохвильового випромінювання та розробці апаратів на основі даного принципу. Проведений аналіз світових енергетичних проблем, які в свою чергу негативно впливають на екологічну ситуацію та, в решті решт, кладуть початок продовольчій кризі, показав, що вирішення цих питань в комплексі лежить в сфері агропромислового сектору. Процеси переробки харчової сировини в більшості є досить енерговитратними та з великою часткою відходів. Окрім того, сучасні технології організації типових процесів спричиняють суттєвий вплив на якість готового продукту: використання топкових газів при сушінні зернових культур, тривале термічне навантаження на сировину в процесі випарювання, використання нехарчових екстрагентів в процесі вилучення цільових компонентів, тощо.

Мета роботи. Створення енергоефективного інноваційного обладнання для отримання високоякісних харчових концентратів та розробка інженерних методів їх розрахунку

Об'єкт досліджень. Вакуум-випарний апарат із мікрохвильовим джерелом енергії.

Предмет досліджень. Механізми взаємодії мікрохвильового поля із харчовими розчинами, енергетика та кінетика процесів випаровування у мікрохвильовому полі..

Ключові слова: ВИПАРЮВАННЯ, КОНЦЕНТРУВАННЯ, ЗНЕВОДНЕННЯ, МІКРОХВИЛЬОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ВАКУУМНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ТЕПЛОМАСООБМІН.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми. Україна, будучи агропромисловою країною, також зазнає істотного впливу проблем в сфері енергетики, екологічних питань та харчових ресурсів. Найбільш енергоємними процесами АПК є процеси зневоднення. Випарювання та сушіння є невід'ємною складовою більшості виробництв. Однак, не зважаючи на те, що технології цих процесів неуклінно вдосконалюються, на сьогоднішній день існує досить широкий спектр енергетичних та сировинних питань в сфері цієї галузі. Традиційні технології випарювання не дають змогу організувати безпечно для продукту протікання процесу, оскільки майже всі вони побудовані на принципі класичної теплопередачі, яка при значному підвищенні кінцевої концентрації сухих речовин обумовлює утворення пограничного шару на поверхні, що передає тепло. Це, в свою чергу, призводить до підвищення температури продукту, внаслідок чого можливе пригорання та утворення специфічного присмаку, що є неприйнятним. Для вирішення цього протиріччя вдаються до сушіння, завдяки якому цілком можливо отримати тверду фазу із рідкої сировини. Оскільки досить часто такі процеси протікають при достатньо суттєвому термічному навантаженні на продукт на протязі тривалого часу, корисні компоненти, що являють собою високу поживну цінність, руйнуються, тим самим знижується загальна цінність продукту. Окрім того, на відміну від випарювання, процес сушіння є достатньо 8 енергоємним із досить низьким ККД.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗНЕВОДНЕННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

1.3. Проблеми українського АПК у зв'язку із глобальними світовими викликами

Одним з лідерів з використання енергетичних ресурсів в Україні є харчові технології (ХТ), при яких переважна більшість виробництв здійснюють термічну обробку сировини [3] і надають серйозне навантаження на навколишнє середовище [17]. Термічне обладнання харчової індустрії відрізняється великою різноманітністю і вкрай низькою ефективністю використання сировинних [2,4] і енергетичних [17-19] ресурсів.

Відсутні задовільні технічні рішення з екологічної безпеки харчових виробництв [20]. Якщо порівняти кількість енергії, яку людина отримує з їжею, і витрати енергії на її виробництво, то загальний енергетичний ККД не перевищить 10% [21]. Для харчових систем зниження кількості спожитої енергії не тільки підвищить енергетичний ККД процесу і знизить собівартість продукту, але і зменшить рівень термічного впливу на продукт. Це призведе до збереження термолабільних і біологічно активних компонентів харчової сировини.

Виробництво продуктів харчування є енергоємним у всіх економічно розвинених країнах. В Україні агропромисловий комплекс є найбільш потужним споживачем енергетичних ресурсів. При цьому, питомі витрати енергії в 2-4 рази вище, ніж в індустріально розвинених країнах [3, 4]. Більшого, загрозливими стали тенденції зростання об'єму викидів і відходів харчових виробництв, які є активними забруднювачами атмосфери, гідросфери і літосфери. При цьому харчові технології відстають в практичному впровадженні інноваційних технологій від інших галузей економіки [22-24]. Разом з тим проблемами харчових енерготехнологій в світі комплексно не займаються.

Кризові прогнози стимулюють наукове співтовариство до вдосконалення процесів виробництва харчових продуктів з акцентом на більш ефективне використання енергії та сировини із забезпеченням екологічної безпеки виробництва [25]. Розробка нанотехнологій та нових способів підведення енергії, розпочата ще на початку 80-х років, дала потужний поштовх до розвитку нової техніки. Раніше тонкі інструменти підведення енергії застосовувалися, переважно, в медицині, військових і високонаукових галузях, потім при здешевленні технічних засобів методи отримали розвиток і в харчових технологіях. Роботи по впровадженню методів із застосуванням селективної дії на нанорозмірні об'єкти паралельно ведуться в країнах Західної Європи, Сполучених Штатах Америки, Китаї та країнах тихоокеанського басейну і т.д. Особливе місце в таких дослідженнях займають методики із застосуванням мікрохвильового поля, однак, єдиного пояснення особливостям його впливу на органічні структури авторами не дається.

В світовому об'ємі найбільші витрати енергетичних ресурсів потребують технології виробництва концентрованих продуктів.

1.4. Аналіз техніки і технологій зневоднення харчової сировини.

Найбільш енергоємними в харчових виробництвах є технології зневоднення харчової сировини [13, 26, 27]. Саме процес зневоднення харчових розчинів, сировини рослинного і тваринного походження в значній мірі визначає і якість готового продукту, і витрати енергії [28]. Тому актуальними стають завдання комплексного вирішення проблем зневоднення.

1.3. Основні процеси зневоднення.

Зневоднення – є ключовим процесом у багатьох харчових технологіях. Найбільшого поширення мають два принципи: випарювання і сушіння [29- 35]. Але витрати енергії на видалення одиниці вологи в цих процесах виявляються суттєво різними. Якщо енергетичний ККД самого недосконалого процесу випарювання 85%, то кращі сушильні технології не перевищують 40% [36].

Причина в відомому протиріччі сушильних технологій. Завдання підвищення інтенсивності процесів переносу пов'язана з ростом швидкості потоку теплоносія. А це вимагає підвищення витрат теплоносія і, як наслідок, зростання втрат енергії з відпрацьованим теплоносієм [37].

1.4 Традиційна техніка зневоднення.

Найбільшого поширення в світі отримали конвективні сушарки. Це високопродуктивні установки, інтенсифікація процесів масопереносу в яких досягається збільшенням витрат сушильного агенту [31]. Але такий підхід виправданий тільки в умовах низьких цін на паливо. А в умовах стабільного зростання цін на енергоносії, в умовах енергетичної кризи принципи конвективного сушіння не ефективні. Інноваційні технології часто не використовуються через високу конструктивну складність і труднощі експлуатації [29, 38], або низьку продуктивність.

Традиційні технології конвективного сушіння сировини зіткнулися з серйозними суперечностями. Завдання досягнення високих значень коефіцієнтів масопереносу вирішується шляхом збільшення швидкості (витрати) сушильного агенту. Однак підвищення витрати призводить до пропорційного зростання втрат теплоти в навколишнє середовище. Саме з відпрацьованим сушильним агентом в навколишнє середовище втрачається 25% енергії палива. Крім того, при використанні даних технологій продукт піддається дії високих температур протягом тривалого часу, що негативно впливає на його якість. Найбільш екологічно безпечним та енергоефективним є сушіння під дією сонячного випромінювання, але поряд з високою тривалістю воно залежить від погодних умов. Використання для сушіння інфрачервоного випромінювання дозволяє знизити втрати тепла в апаратах за рахунок передачі енергії безпосередньо до продукту, але при цьому велика частина переданої енергії поглинається тільки поверхнею продукту .

1.5 Інноваційна техніка зневоднення.

Все більше уваги звертають на себе технології діелектричного нагріву продукту під впливом радіочастотного і мікрохвильового електромагнітного випромінювання. Радіохвилі проникають в продукт на велику глибину, ніж мікрохвилі, але виникають складнощі із забезпеченням рівномірності нагріву. Крім того, застосування радіочастотного нагріву обмежується щоб уникнути створення перешкод для засобів зв'язку [10]. Мікрохвильові технології успішно застосовуються для зневоднення як рідких, сипучих продуктів, так і цілих фруктів і овочів. Мікрохвильове енергопідведення при зневодненні комбінують з осмотичним сушінням, вакуумом, конвективним сушінням гарячим повітрям. При цьому, наряду із досить широкими дослідженнями кінетики процесів випарювання, сушіння та питань моделювання, дослідження проблем енергетики традиційних та інноваційних процесів зневоднення проводиться рідко [8, 36].

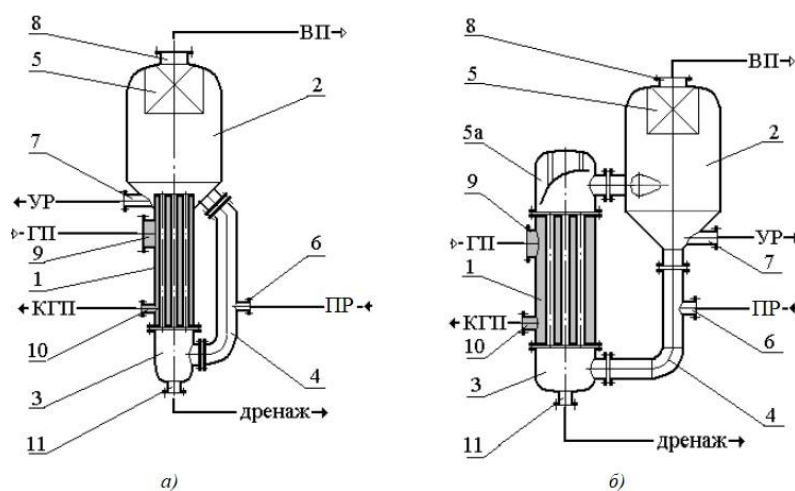
1.6 Конструктивні особливості та характеристики сучасних випарних апаратів.

Одними із найбільш розповсюджених сучасних випарних апаратів є трубчаті вертикальні. За взаємним розміщенням гріючої камери, сепаратора та циркуляційної труби їх поділяють на установки:

- із співвісними (по відношенню до сепаратора) гріючою камерою та циркуляційною трубою;
- із співвісними гріючою камерою та винесеною циркуляційною трубою;
- із співвісними винесеною гріючою камерою та циркуляційною трубою.

Конструкції поширених традиційних установок розглянуті нижче.

Вертикальні трубчасті ВА з природною циркуляцією розчину та його кипінням в зоні нагріву. Використовуються для концентрування термостійких розчинів із низькою в'язкістю, що не кристалізуються та не піняться, а також не містять твердих механічних частин (рис. 1.3).



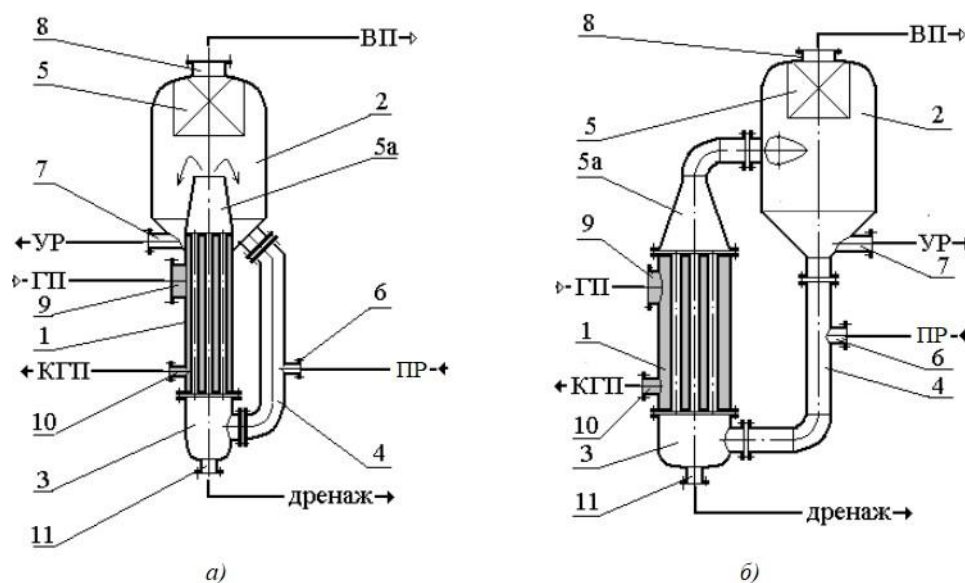
1 - грійо́ча камера; 2 - сепаратор; 3 - нижня кришка грійо́чої камери;
 4 - циркуляційна труба; 5 - краплеуловлювач; 5а - верхня кришка грійо́чої камери. Штуцери: 6 - для входу початкового розчину; 7 - для виходу упареного розчину;
 8 - для виходу вторинної пари; 9 - для входу грійо́чої пари; 10 - для виходу конденсату грійо́чої пари; 11 - для спорожнення.

Потоки: ПР - початковий розчин; УР - упарений розчин; ВП - вторинна пара; ГП - грійо́ча пара; КГП - конденсат грійо́чої пари.

Рис. 1.3. Вертикальні трубчасті ВА з природною циркуляцією розчину та його кипінням в зоні нагріву (а – із співвісною, б – із винесеною грійо́чими камерами).

ВА з винесеними грійо́чими камерами при рівних умовах займають більшу виробничу площу, однак вони більш придатні до ремонту та прості в обслуговуванні.

Вертикальні трубчасті ВА з природною циркуляцією розчину і винесеною зоною кипіння. Головна відмінність цих установок від вищевказаних полягає у наявності труби закипання (рис. 1.4) в грійо́чій камері над верхньою трубною решіткою. Це обумовлює створення додаткового стовпу розчину при роботі установки. За рахунок цього в трубках грійо́чої камери виникає значно високий гідростатичний тиск і розчин в них не закипає, а рухається знизу до верху, підвищуючи свою температуру до значення, що перевищує температуру кипіння при тиску на вільній поверхні. Завдяки цьому розчин, досягнувши цієї поверхні, активно закипає.

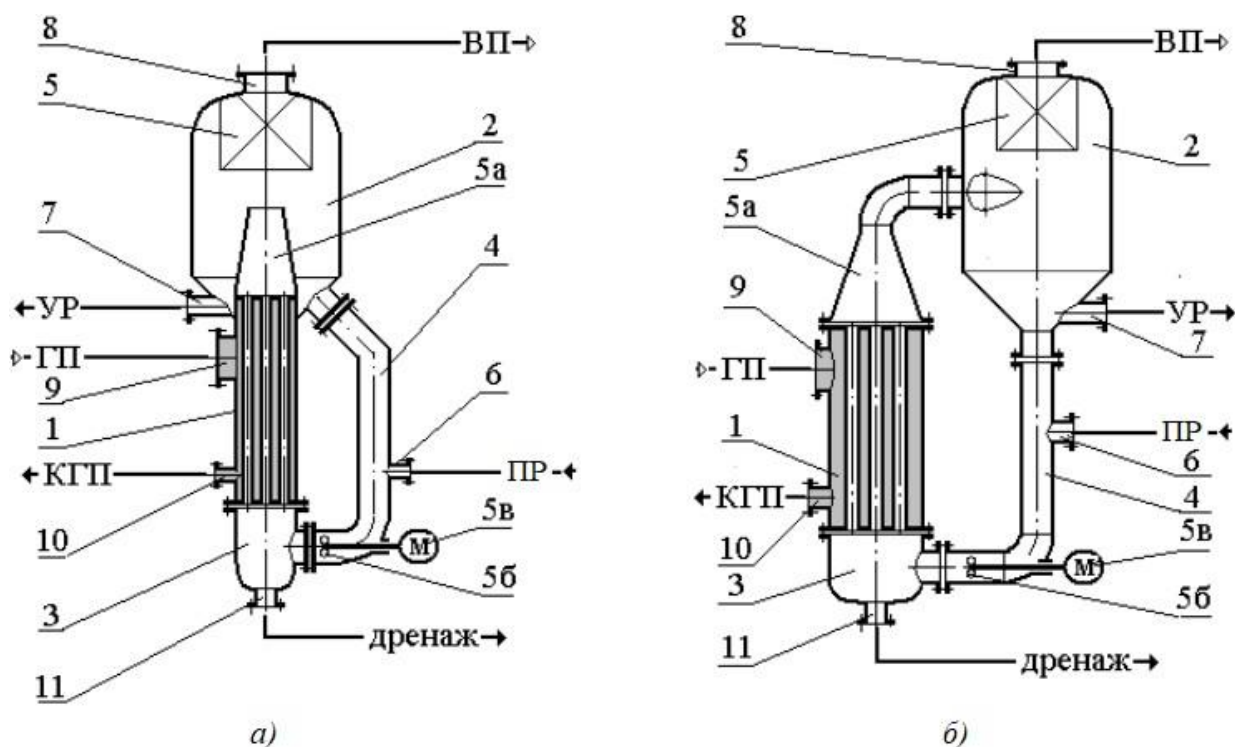


1 - грійоча камера; 2 - сепаратор; 3 - нижня кришка грійочної камери;
 4 - циркуляційна труба; 5 - краплевлловач; 5а - труба закипання.
 Штуцери: 6 - для входу початкового розчину; 7 - для виходу упареного розчину;
 8 - для виходу вторинної пари; 9 - для входу грійочної пари; 10 - для виходу
 конденсату грійочної пари; 11 - для спорожнення
 Потoki: ПР - початковий розчин; УР - упарений розчин; ВП - вторинна
 пара; ГП - грійоча пара; КГП - конденсат грійочної пари.

Рис. 1.4. Вертикальні трубчасті ВА з природною циркуляцією розчину і винесеною зоною кипіння (а – із співвісною, б – із винесеною грійочими камерами).

Ці ВА зазвичай використовують для концентрування термостійких розчинів із малою та середньою в'язкістю та утворенням осаду, який механічно видаляється. В даних установках допускається випарювання розчину із тонкодисперсними твердими частинами.

Вертикальні трубчасті ВА з вимушеною циркуляцією розчину. Подібні ВА (рис. 1.5) зазвичай використовуються при випарюванні розчинів, що володіють досить в'язкою структурою та/або мають в своєму складі значний відсоток твердих частинок.



1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – нижня кришка гріючої камери; 4 – циркуляційна труба; 5 – краплеуловлювач; 5а – труба закипання; 5б – циркуляційний насос; 5в – привід циркуляційного насосу. Штуцери: 6 – для входу початкового розчину; 7 – для виходу упареного розчину; 8 – для виходу вторинної пари; 9 – для входу гріючої пари; 10 – для виходу конденсату гріючої пари; 11 – для спорожнення.

Потоки: ПР – початковий розчин; УР – упарений розчин; ВП – вторинна пара; ГП – гріюча пара; КГП – конденсат гріючої пари.

Рис. 1.5. Вертикальні трубчасті ВА з вимушеною циркуляцією розчину (а – із співвісною, б – із винесеною гріючими камерами).

ВА з вимушеною циркуляцією мають в складі своєї конструкції труби закипання, так як вони є апаратами із винесеною зоною кипіння. Швидкість циркуляції, що організовується за рахунок насосів (переважно осьових), може досягати до 2,5 м/с. Це зумовлює збільшення коефіцієнту тепловіддачі, на відміну від апаратів з природною циркуляцією. Крім того, такі ВА є сприятливими для концентрування розчинів із термолабільними компонентами, оскільки за рахунок великої швидкості циркуляції час знаходження розчину в зоні нагріву істотно скорочується.

Вертикальні трубчасті плівкові ВА. Зазвичай використовуються для випарювання розчинів із термолабільними речовинами. Окрім того, ці установки є спрямоточними, тобто продукт протікає через зону нагріву лише один раз за короткий проміжок часу. Трубчасті плівкові ВА поділяються на установки з низхідною (рис. 1.6) та висхідною (рис. 1.7) плівкою розчину.

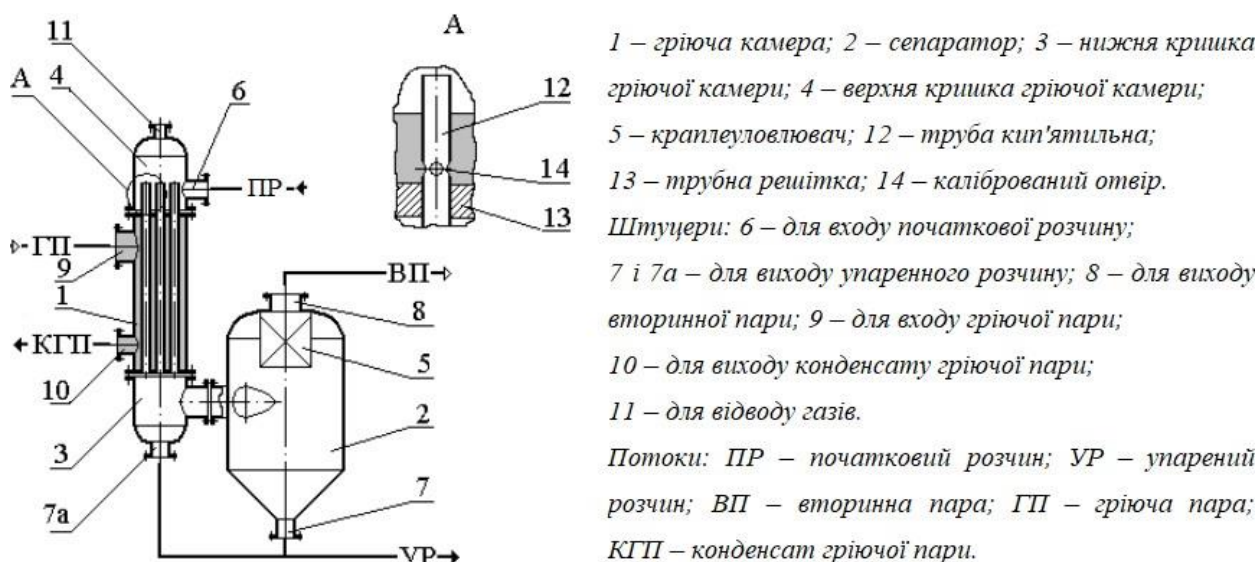


Рис. 1.6. Вертикальний трубчастий ВА з низхідною плівкою розчину.

Загалом, ВА з низхідною плівкою розчину використовують при концентруванні неагресивних розчинів, що не містять твердих механічних часток.

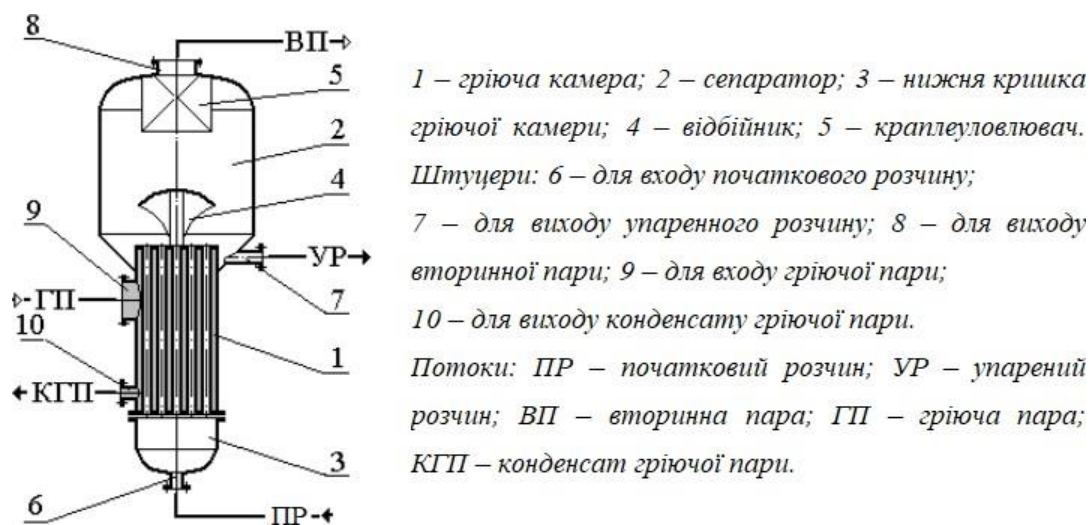


Рис. 1.7. Вертикальний трубчастий ВА з висхідною плівкою розчину.

Відсутність розподільників рідини в конструкції ВА з висхідною плівкою дає змогу випарювати в ньому досить агресивні та нетерmostійкі розчини, що піняться та мають малу або середню в'язкість (рис. 1.7).

Роторний плівковий ВА. Головне призначення даного типу апаратів (рис. 1.8) полягає у концентруванні нетерmostійких розчинів досить високої в'язкості та навіть пастоподібної консистенції.

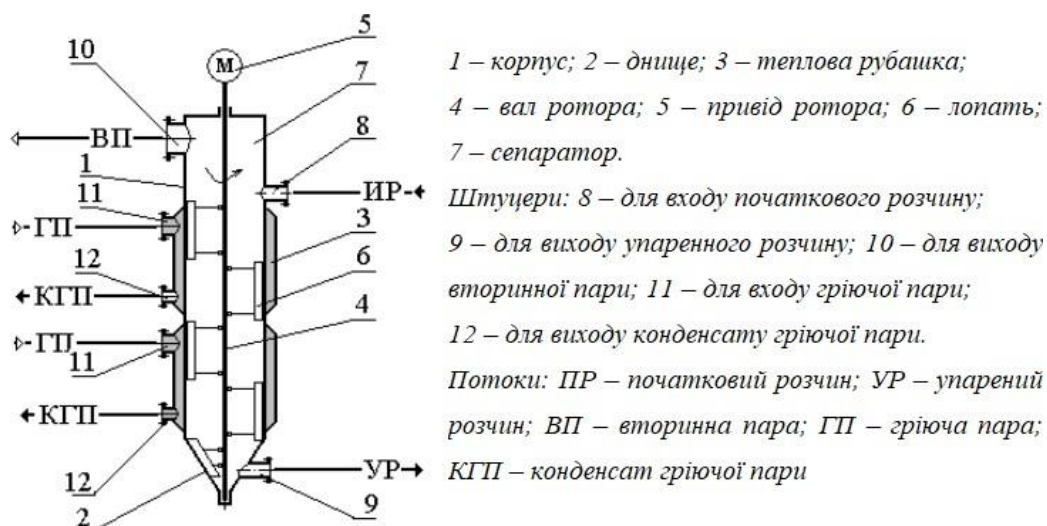
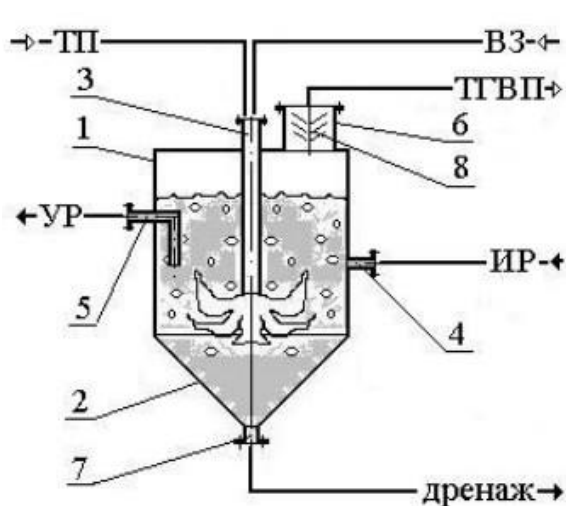


Рис. 1.8. Роторний плівковий ВА.

До недоліків роторних плівкових ВА можна віднести складність конструкції, наявність рухомих частин та малу продуктивність, зумовлену незначними розмірами та малою площею поверхні теплообміну.

Барботажний ВА. Випарні апарати даного класу є досить поширеними та зазвичай використовуються для випарювання сильно агресивних розчинів, для яких майже неможливо підібрати достатньо стійкі до корозії матеріали при виготовленні поверхонь, що передають тепло (рис. 1.9).

Головними перевагами подібних ВА є відносна простота конструкції та висока інтенсивність теплообміну. До недоліків можна віднести забруднення розчину топковими газами.



1 – корпус; 2 – дно; 3 – занурювальна конфорка; 8 – краплеуловлювач.

Штуцери: 4 – для входу початкової розчину; 5 – для виходу упареного розчину; 6 – для виходу суміші вторинної пари і топкових газів; 7 – для спорожнення.

Потоки: ПР – початковий розчин;

УР – упарений розчин; П – паливо;

ПВ – повітря; ТГВП – суміш топкових газів і вторинної пари.

Рис. 1.9. Барбота́жний ВА.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Проведено глибокий аналіз стану агропромислового комплексу в Україні на фоні прогнозів глобальних криз енергії, екології та їжі. Висвітлено основні проблеми харчової промисловості, що впливають на розвиток вищевказаних криз та світовий досвід дій, направлених на їх вирішення.

2. Розглянуті одні із найбільш енергоємних процесів обробки харчової сировини, а саме процеси зневоднення: сушіння та випарювання. Приведена коротка характеристика традиційних технологій зневоднення, виділені їх загальні недоліки та розглянуті інноваційні методи їх усунення.

3. Аналіз науково-технічних протиріч показав, що однією із головних проблем отримання високих кінцевих концентрацій полягає у теплопередачі в традиційних випарних установках, через що використовують для подальшого зневоднення процес сушіння. Однак енергетичний ККД останнього у 2 рази нижче за процес випарювання.

4. Проведений огляд літературних джерел щодо використання мікрохвильового поля при зневодненні харчової сировини. Результат огляду показав, що ідея використання такого джерела енергії є досить поширеною, однак отриманні результати експериментів не розкривають потенціал інноваційного обладнання у повній мірі.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

2.6 Принципова схема інноваційного випарного апарату

Принципова відмінність запропонованої техніки випарювання від традиційних рішень полягає в тому, що надходження енергії до молекул води відбувається значно простіше. Представимо це у вигляді фізичної схеми (рис. 2.1).

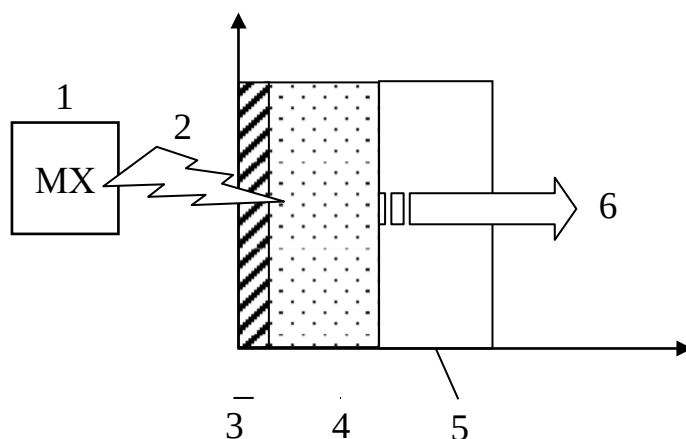


Рис. 2.1. Фізична схема інноваційної техніки процесу випарювання.

Випарювання в інноваційній техніці відбувається за відсутності класичної теплопередачі. Енергія електромагнітного поля (2), що випромінюється мікрохвильовим генератором (1), безпосередньо взаємодіє з молекулами вологи сировини (4), минаючи стінки реакційного об'єму (3). Таким чином в умовах надвисокочастотного електромагнітного поля відбувається дисипація енергії поля і утворення парової фази (6), яка видаляється через сепаратор (5). Виходячи з цього, принципові відмінності інноваційної техніки від традиційної полягають в наступному:

- підведення енергії до розчину при ГУ 3 роду замінене об'ємним підведенням енергії при ГУ 2 роду;
- адресне підведення енергії безпосередньо до полярних молекул вологи дозволить організувати стабільну паропродуктивність аж до 5-10% вмісту вологи в розчині при простій схемі управління процесом.

2.7 Характеристика об'єкту та предмету досліджень.

В якості об'єкту досліджень виступає вакуум-випарний апарат із мікрохвильовим джерелом енергії.

Предметом досліджень являються механізми взаємодії мікрохвильового поля із харчовими розчинами, енергетика та кінетика процесів випаровування у мікрохвильовому полі.

Для проведення досліджень були обрані перспективні для Південного регіону та для України в цілому харчові системи, представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Класифікація рідких харчових систем

№ п/п	Сировина		Готовий продукт		Основний процес
	Тип	Вид	Тип	Регламентації	
1	Соки	Яблучний	Концентрат	До 40 °С	Випарювання
		Буряковий			
		Ехінацеї			
		Гранатовий			
		Томатний			
2	Екстракти	Коріння міскантусу	Концентрат	До 40 °С	Випарювання
		Олії кави			
		Олії виноградних кісточок			
3	Вино	Біле	Концентрат	До 40 °С	Випарювання
4	Молоко	Цільне	Згущений	До 60 °С	Випарювання
5	Розчин	Цукровий	Концентрат	До 120 °С	Випарювання

Основна сировина є термолабільною. Тому температурні режими випарювання обмежені. У широкому діапазоні температур плануються дослідження на цукровому розчині, який допускає обробку при підвищених температурах.

Ставиться завдання перевірки можливості застосування отриманих емпіричних моделей і для інших, нехарчових систем. Для цього планується провести дослід з модельними системами (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Класифікація модельних систем

№	Система		Готовий продукт		Основний процес
	Тверда фаза	Рідина	Тип	Обмеження	
1	Шлам	Етанол	Екстракт	Наявність полярних молекул	Випарювання
2	Виноградні кісточки	Ацетон	Екстракт	Наявність полярних молекул	Випарювання
3	Деревина дубу	Вода + етанол	Екстракт	Наявність полярних молекул	Випарювання
4	Коріння міскантусу	Вода + етанол	Екстракт	Наявність полярних молекул	Випарювання
5	Пісок	Вода	Суміш	Наявність полярних молекул	Випарювання

Проведення комплексних експериментальних досліджень вимагає розробки стендового обладнання. Обмеження температурних режимів концентрування передбачає вакуумний апарат. Мікрохвильові джерела енергії вимагають захисту від її витоків, а реакційний об'єм повинен бути радіопрозорим.

Планується використовувати комп'ютеризовані комплекси для вимірювання поточних параметрів процесів, що показують в on-line режимі основні характеристики досліджуваного режиму.

З урахуванням цих вимог виготовляються вузли стендів, підбираються вимірювальні системи. Самостійною проблемою, яку необхідно вирішувати, є вимір температури в обсязі робочої камери.

Конкретизація вищезазначених завдань полягає у послідовному аналізі методик досліджень від інженерних комплексів до методів визначення похибок вимірювань.

2.8 Методи експериментального дослідження.

Схема дослідження стенду.

Експериментальні дослідження процесу випарювання харчових систем з використанням електромагнітного випромінювання для організації об'ємного підводу енергії до сировини проводилися на базі експериментального стенду, схема якого зображена на рис. 2.2.



Рис. 2.2. – Схема стенду для дослідження процесу випарювання в умовах дії МХ поля.

Система енергопідводу організовує надходження МХ енергії до інноваційного вакуум-випарного апарату. Процес розрядження забезпечується за рахунок системи контролю вакууму та вакуумування. Відведення парів, що утворюються внаслідок кипіння розчину в процесі випарювання, та подальша їх конденсація здійснюється через систему паровідводу та конденсації. Отриманий конденсат надходить до системи збору конденсації та реєстрації ваги. Автоматизований збір даних організовує систематизацію сигналів

датчиків температур продукту в камері та пари в паропроводі, а також електронних ваг, що надходять до контролера.

2.9 Загальні положення

Будь-якому впровадженню інноваційного обладнання на підприємстві передусь формування методів розрахунку такого обладнання та проведення оптимізації запропонованих конструкцій. Використання мікрохвильового випромінювання в процесі випарювання в умовах виробництва досі не здійснювалося. Відповідно до цього відсутні і алгоритми розрахунку МХ ВВА, тому і впровадження на підприємствах установок такого типу не є можливим. Окрім того, однією із важливих вимог до випарних установок, що впроваджуються, є можливість роботи у безперервному режимі, оскільки це серйозна передумова збільшенню продуктивності ВА. На практиці, реалізацій безперервного режиму процесу випарювання під дією електромагнітного поля в умовах вакууму у світі немає. Звідси, відсутні і будь-які результати виробничих випробувань, оскільки промислово-дослідних зразків на сьогоднішній день не представлено.

Об'єм вологи в сировині, яку слід видалити, (V_B), тобто об'єм вторинної пари визначимо з матеріального балансу апарату:

$$\left. \begin{aligned} V_K + V_B &= V_C \\ V X_K &= V X_H \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

з (2.1) визначається об'єм вторинної пари:

$$V_B = V_C - V_H \frac{X_H}{X_K} \quad (2.2)$$

2.10 Проект модуля

До конструкції модуля визначаються наступні вимоги:

- бути працездатним для роботи в умовах вакууму (від 5 кПа);
- мати радіопрозорий ввід електромагнітної енергії мікрохвильового діапазону;
- забезпечувати в умовах вакууму вхід і вихід розчину;
- забезпечити відсутність витоків електромагнітної енергії вище допустимих значень.

Отже, основними елементами модуля є реакційний об'єм, де реалізується процес випарювання, вузли введення розчину і виведення концентрату і вторинної пари, системи генерації та введення МХ енергії і корпус апарату. Конструкція цих елементів повинна забезпечити вирішення технологічних задач і відповідати комплексним технічним вимогам (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Концептуальна модель інноваційного модуля

Елемент конструкції	Технологічні завдання	Технічні вимоги і обмеження
Реакційний об'єм	Забезпечити процес випарювання з харчових систем у вакуумі і при температурах до 100°C	Бути радіопрозорим, працездатним в умовах вакууму і сумісним з харчовими розчинами
Вузол вводу розчину і виходу концентрату і вторинної пари	Теплогідродинамічні характеристики повинні бути узгоджені з технологічним регламентом. Забезпечувати рух потоків без їх перемішування	Відповідати умовам позамежного хвилеводу, бути працездатним в умовах вакууму і сумісним з харчовими розчинами
Корпус модуля	Витримувати силові навантаження. Відповідати необхідним рівням теплового захисту	Відповідати нормам електромагнітного захисту апарату
Вузол вводу МХ енергії	Параметри хвилеводу повинні забезпечувати максимальні ККД транспортування енергії	Відповідати нормам електромагнітного захисту апарату

Елемент конструкції	Технологічні завдання	Технічні вимоги і обмеження
Система генерації МХ поля	Повинна передбачати можливість регулювання вихідної потужності магнетрона	Повинна бути автономною і не вимагати спеціальних пристроїв для охолодження силової електроніки

Конструкція запропонованого модуля представлена на рис. 2.3. Його основою слугує циліндричний металевий корпус (3), головною рисою якого є радіонепроникність. Корпус оснащений вікном, яке слугує для кріплення блоку МХ випромінювання (6). Електромагнітна енергія взаємодіє із продуктом через шар радіопрозорого тefлону (5), який вкриває корпус зсередини. Верхній (2) та нижній (7) фланці, з'єднані між собою шпильками (4), вкривають корпус з обох сторін. Патрубок (1) верхнього фланцю слугує для вакуумування модуля та відведення пари. Нижній фланець оснащений патрубками безперервного підведення сировини (8) та безперервного відведення кінцевого продукту (9).

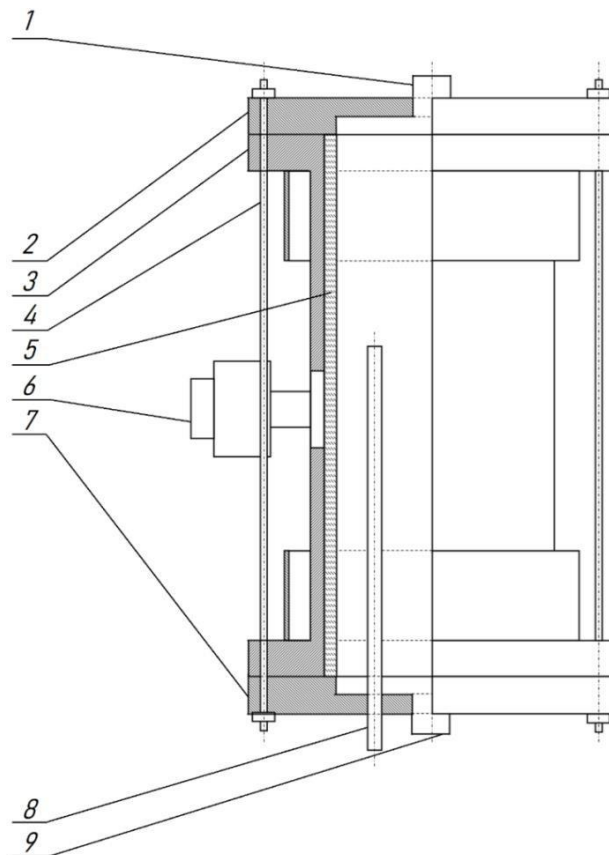


Рис. 2.3. Схема запропонованої конструкції мікрохвильового вакуум-випарного модуля.

Опис станду для досліджень мікрохвильового випарного модуля.

Експериментальний станд (рис. 2.4) складається із ємності початкової сировини (1), МХ вакуум-випарного модуля (ВВМ) (2), вакуум-насосу (ВН), конденсатора (4), водоохолоджувача (ВО), збірника конденсату (5). Збір та обробка даних здійснюється за допомогою вимірювально-обчислювального комплексу (ВОК).

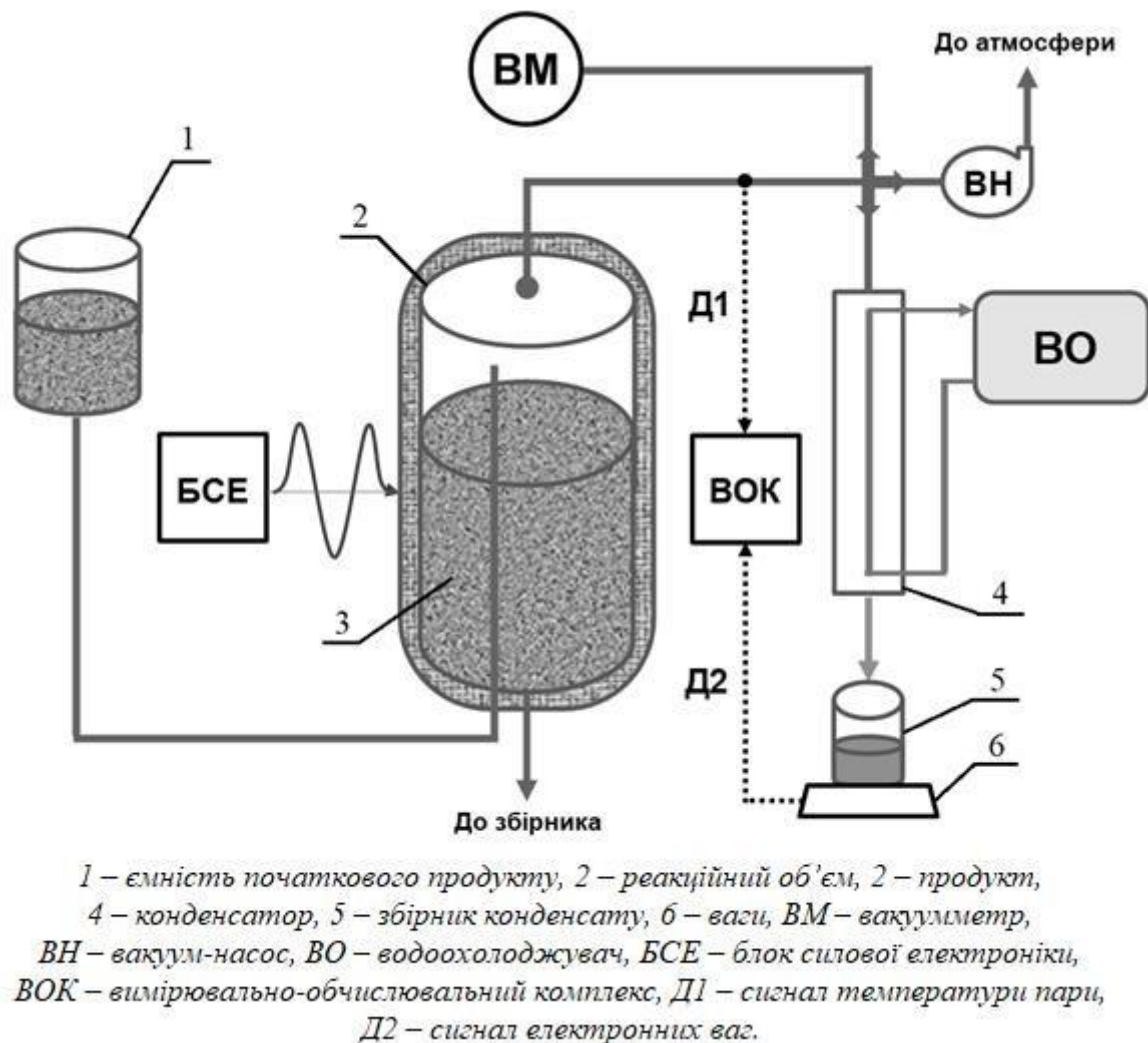


Рис. 2.4. Схема експериментального станду для дослідження МХ ВВМ.

МХ ВВМ за допомогою паропроводу з'єднаний з конденсатором. Контроль вакууму в системі здійснюється за допомогою зразкового вакуумметра. Блок силової електроніки за сигналами блоку управління, до якого входить регулятор потужності і таймер, організовує підведення

електромагнітної енергії до продукту. Принцип роботи водоохолоджувача аналогічний тому, що представлений в схемі з МВ ВВУ періодичної дії. Поточні значення датчику температури пари на виході (Д1) і електронних ваг (6) через інтерфейс надходять на процесор БОК для подальшої обробки. В якості вимірювальних приладів були використані: електронні ваги ТВЕ-0,21-0,01 і датчик температури Dallas DS 18b20. Збір інформації здійснювався з використанням планшету CHUWI CW1506. Програма реєстрації та обробки даних була реалізована на базі SCADA-системи Simp Light [1].



Рис. 2.5. Стенд для випробувань МХ ВВМ.

Фото стенду, на якому проводилися дослідження експериментального зразка модуля, приведено на рисунку 2.5.

Результати стендових досліджень статички мікрохвильового випарного модуля.

Основними завданнями статичних стендових випробувань модуля були:

- перевірка герметичності експериментального стенду для можливості проведення дослідів в умовах вакууму;
- визначення теплових втрат вакуум-випарного модуля в навколишнє середовище;
- визначення раціонального рівня завантаження вакуум-випарного модуля сировиною.

Для перевірки герметичності системи використані вакуум-насос і вакуумметр зразковий. За допомогою вакуум-насоса було забезпечено розрядження в системі стенду до 10 кПа. По закінченню доби показання вакуумметра залишалися практично незмінним, що свідчило про надійність елементів системи і сполучних вузлів.

Теплова ізоляція корпусу вакуум-випарного модуля виконана з шару пінопласту товщиною 40 мм і тепловідбиваючого екрану із пенофолу товщиною 3 мм. Температури на поверхні теплоізоляції вимірювалися пірометром випромінювання. Досліди проводилися при температурі навколишнього середовища, рівній 19,5°C. В ході досліджень модуль був заповнений водою, після чого включався магнетрон на повну потужність. Перша серія дослідів проводилася в умовах вакууму в модулі, при температурі кипіння 40°C. У сталому режимі визначені (рис. 2.6) ділянки поверхні, де температура ($t_{к1}$) відрізнялася в межах 2°C. Друга серія дослідів відповідала роботі модуля при атмосферному тиску і температурі кипіння 100°C. Результати вимірювань температур ($t_{к2}$) наведені на рисунку 5.6. Видно, що максимальні температури у верхнього фланця модуля, а мінімальні – у нижнього.

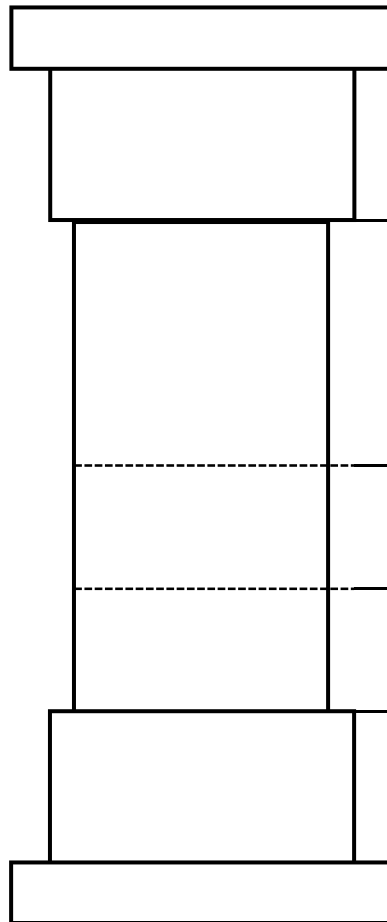
		$t_H = t_{oc}, ^\circ C$	$t_{k1}, ^\circ C$	$t_{k2}, ^\circ C$
		19,5	35	37
		19,5	36	50,7
		19,5	35	40
		19,5	30	35,3
		19,5	25	28,1
		19,5	21	23
		19,5	20	21
		$Q_{пот}$	50,5 Вт	71,2 Вт

Рис. 2.6. Схема полів температур ВВМ.

На основі отриманих результатів для кожної ділянки поверхні, площа якого F і різниця температур $(t_k - 19,5) ^\circ C$ розраховано коефіцієнти тепловіддачі (α) і теплові втрати:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta t \quad (2.3)$$

$$\alpha = 9,6 + 0,06 \cdot \Delta t \quad (2.4)$$

В результаті визначені значення локальних стоків теплоти від окремих ділянок корпусу. Сумарні теплові втрати від корпусу вакуум-випарного модуля в навколишнє середовище при температурах продукту $40^\circ C$ и $100^\circ C$ складають, відповідно, 50,5 Вт та 71,2 Вт.

Важливим фактором ефективного використання енергії та надійної експлуатації апарату є рівень завантаження робочого об'єму камери розчином. Перевищення нормального значення цього рівня при активному кипінні рідини може привести до закидання компонентів сировини в паропровід (що знизить якість гідролату). Зниження рівня рідини в камері (особливо нижче рівня вхідного вікна магнетрону) призведе до зниження ККД системи перетворення електромагнітної енергії.

Встановлено, що значення раціонального рівня завантаження вакуум-випарного модуля сировиною становить 2,2 л (при загальній місткості внутрішнього об'єму камери 2,4 л).

Результати експериментальних досліджень МХ ВВМ.

Експериментальні дослідження проводилися в три серії. Перші дві полягали у визначенні впливу рівня потужності, що підводиться і ступеня розрядження на паропродуктивність модуля. В якості вихідного продукту було обрано цукровий розчин, початкова концентрація якого складала 15°Brix. На цьому об'єкті досліди можна проводити в широкому діапазоні температур, оскільки тривале термічне навантаження не є критичним для даного типу сировини. Третя серія - це дослідження впливу типу продукту на паропродуктивність при постійних максимальних значеннях рівня потужності, що підводиться і вакууму. Класифікація рідких гомогенних систем проводилася за типом розчинника на водо- і спиртовмісні. В якості водовмісних були використані: водний екстракт кави і яблучний сік. До спиртовмісних віднесені вино біле і водо-спиртовий екстракт дубу (42% етанолу).

Дослідження впливу рівня підведеної потужності електромагнітного поля на паропродуктивність модуля.

Початковий об'єм цукрового розчину становив 2,2 літри. Діапазон експериментальних даних вказано в табл. 2.3.

Діапазон експериментальних даних при дослідженні процесу випарювання цукрового розчину при різних потужностях МХ поля

Об'єкт	Розчин-ник	Тиск, МПа	Темпе-ратура, °С	Потужність, Вт	Концентрація, %	
					Початкова	Кінцева
Цукровий розчин	Вода	0,01	45 - 55	265-600	15	20

В результаті проведених дослідів отримані окремі залежності, наведені на рис. 5.7 – 5.10.

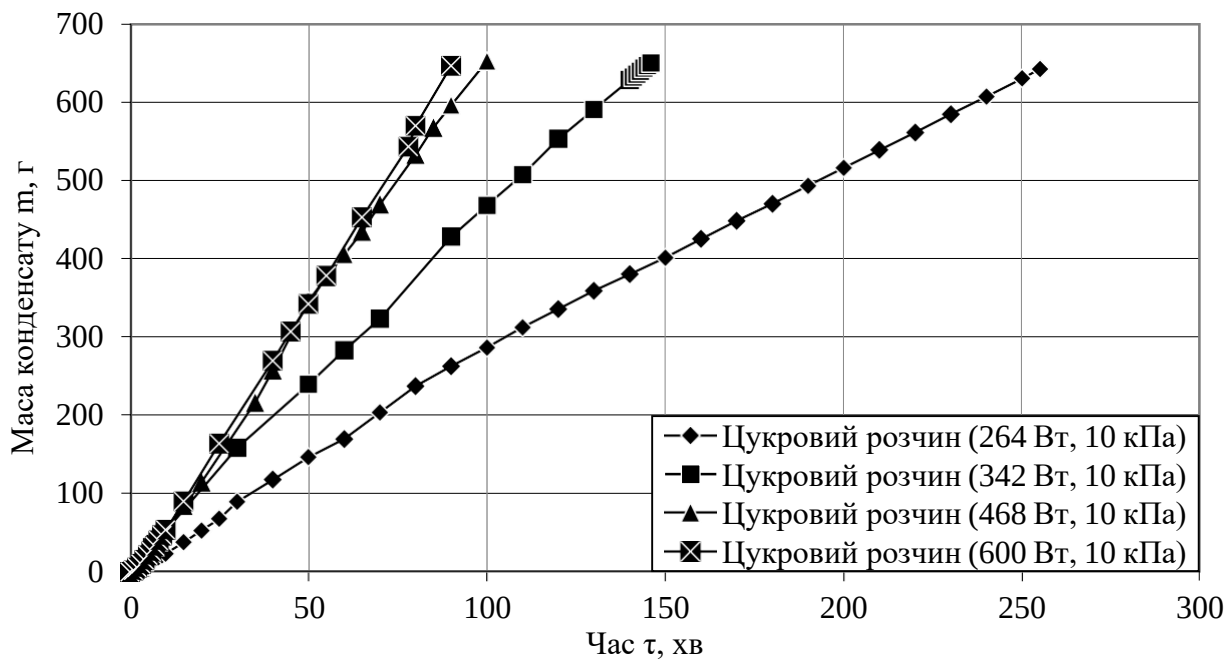


Рис. 2.7. Вплив потужності електромагнітного поля на зміну маси конденсату в часі.

Характер зростання маси конденсату виражається постійною швидкістю протягом усього процесу (рис. 2.7). Дана особливість обумовлена типом енергії, що підводиться, яка рівномірно розподіляється по всьому об'єму продукту при ГУ 2 роду.

Дослідження впливу величини тиску на паропродуктивність модуля.

При проведенні дослідів потужність енергії, що підводиться лишалася незмінною. Інструментом управління рівнем тиску в системі був режим роботи конденсатора - дистилятора. Послідовне підвищення тиску в системі досягалося шляхом зниження потужності конденсатора – зменшення витрати охолоджуючої води і підвищенням її температури. Діапазон експериментальних даних при проведенні другої серії експериментальних досліджень наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Діапазон експериментальних даних при дослідженні процесу випарювання при різних тисках

Об'єкт	Розчин-ник	Тиск, МПа	Темпе-ратура, °С	Потужність, Вт	Концентрація, %	
					Початкова	Кінцева
Цукровий розчин	Вода	0,01 – 0,08	40 – 90	600	15	30

Отримані експериментальні дані оброблені у вигляді залежностей, наведених нижче.

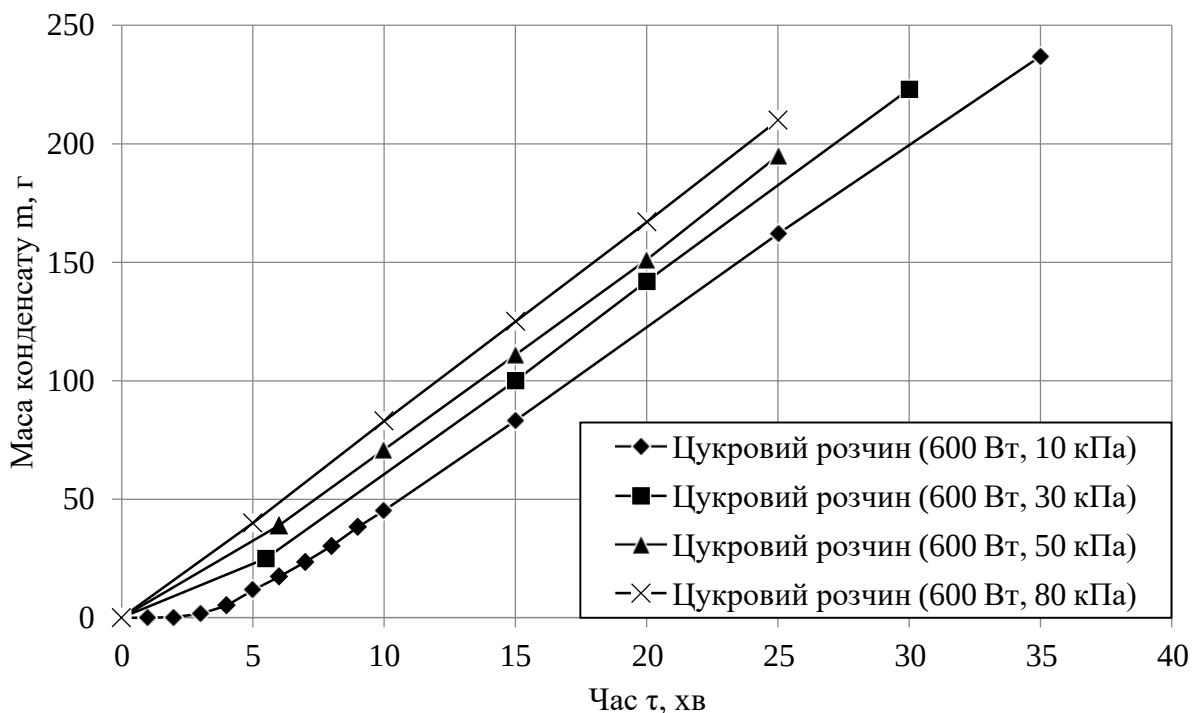


Рис. 2.8. Вплив тиску на зміну маси конденсату в часі.

Видно (рис. 2.8), що з підвищенням тиску в незначній мірі зростає швидкість збільшення маси конденсату.

Дослідження впливу повітря в об'ємі апарату на паропроодуктивність модуля.

У традиційних вакуум-випарних апаратах проблему наявності повітря в системі вирішують за рахунок постійно працюючого вакуум-насосу. Незважаючи на витрати електроенергії, цей процес вважають виправданим, оскільки ефективність процесу перенесення вологи в умовах парогазової суміші істотно знижується.

Теоретичні основи процесу пароутворення в парогазову середу практично не розроблені, і обмежуються окремими прикладними завданнями. Наприклад, випарні охолоджувачі працюють на основі матеріального балансу:

$$\alpha(t_{пг} - t_M) = r\beta_P(P_{пп} - P_{по}) \quad (2.5)$$

У співвідношенні (2.5): α та β – коефіцієнти, відповідно, тепловіддачі і масовіддачі; t – температура; r – питома теплота пароутворення; P – парціальний тиск; індекси: пг – парогазовий; м – мінімальна; пп – пара на поверхні; по – суміші.

Відома модель масовіддачі до пароповітряного середовища з пористої пластини:

$$Nu_D = 2 \cdot 10^{-4} Re^{0,8} \pi_D^{-0,5} \varepsilon_{по}^{-0,5} \quad (2.6)$$

У співвідношенні: – число Нуссельта дифузійне; – число Рейнольдса; – π та ε – параметричні комплекси.

$$\varepsilon_{по} = 1 - \varepsilon_{го} \quad (2.7)$$

Початковий вміст повітря в парі:

$$\varepsilon_{го} = \frac{P_{го}}{P} \quad (2.8)$$

Параметричний комплекс:

$$\pi_D = \frac{P_{пс} - P_{по}}{P} \quad (2.9)$$

Модель справедлива в діапазоні $Re = 1,3 \cdot 10^5 \dots 1,65 \cdot 10^6$; $\varepsilon_{по} = 0,00365 \dots 0,0168$. Температура пароповітряного потоку змінювалася від 12 до 120°C.

Розглянуті моделі не застосовні до розробленого модулю, але принципові положення щодо впливу повітря у них загальні і можуть бути корисні для аналізу.

Технічна ідея модуля визначає економічну доцільність мінімізації поверхні і об'єму модуля. В таких умовах слід провести аналіз впливу повітря в обсязі апарату. Повітря може збиратися через дегазації розчину (це розчинене в розчині повітря) і в результаті натікання через нещільності конструкції. Перша причина менш істотна, і усувається шляхом короточасного включення вакуум-насосу. Друга причина призводить до суперечливих результатів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Вплив процесу натікання повітря на параметри харчової системи

Фактор	Реакція харчової системи	Паропродуктивність
Зростання тиску в апараті	Підвищення температури фазового переходу і зменшення питомої теплоти пароутворення	Підвищення паропродуктивності
Зростання температури	Підвищення втрат теплоти в навколишнє середовище; зниження якості термолабільного продукту	Зниження паропродуктивності
Зростання температури	Підвищення частки конденсації водяної пари на конструктивних вузлах випарного апарату	Зниження паропродуктивності
Наявність повітря в паровому об'ємі	Зниження рушійної сили процесу	Зниження паропродуктивності
Блокування повітрям частини поверхні конденсації	Зниження ефективності процесу конденсації	Зниження паропродуктивності

Розглянуті (таблиця 2.5) процеси приведуть до зміни ситуації в об'ємі модуля. На новому рівні динамічна рівновага встановиться з умов теплового і матеріального балансу. Розглянемо теплофізичну схему системи.

2.6 Узагальнення результатів досліджень.

Результати стендових випробувань показали, що закономірності процесу випарювання. Однак використання цієї моделі в ряді випадків виявиться проблематичним. Питання у визначенні ККД системи трансформації електромагнітної енергії в теплоту. Величина цього параметру залежить як від конструктивних характеристик (розміри хвилеводу, випарної камери), так і від режимних параметрів організації процесу. Ставити дослідження для отримання розрахункової моделі цього ККД немає сенсу, оскільки цей параметр є індивідуальним для кожного модуля. Представляється доцільною наступна схема вирішення проблеми. На підприємстві проводиться під час налагодження тарування паропродуктивності при стабільній потужності (краще мінімальній) для оброблюваного продукту. Результати тарування (базове значення числа енергетичного дії Bu_B) використовуються в розробленій методиці розрахунку паропродуктивності для різних типів розчинів і для різних потужностей електромагнітних генераторів.

При розробці методики використаний метод теорії подібності. Для кожного експерименту визначався параметричний комплекс безрозмірної паропродуктивності W , отриманої при діленні базового числа енергетичного дії Bu_B на поточне Bu_T . Такий прийом дозволяє позбутися від проблемного ККД модуля:

$$W = \frac{Bu_B}{Bu_T} = \frac{\left(\frac{W_B N_B r}{N_T} \right)}{\left(\frac{W_T N_T r}{N_T} \right)} = \frac{N_B}{N_T} \cdot \frac{W_B \cdot r}{W_T} = \frac{W_B}{W_T} \quad (2.10)$$

де N_B, N_T – базове і поточне значення потужності МХ поля, Вт;

W_B, W_T – базове і поточне значення швидкості вологовидалення, кг/с;

γ_B, γ_T – базове і поточне значення теплоти пароутворення, Дж/кг.

Розраховувалися:

- параметричний комплекс безрозмірної потужності:

$$N = \frac{N_T}{N_B} \quad (2.11)$$

де N_B – базове значення потужності ($N_B = 264$ Вт);

- параметричний комплекс безрозмірного тиску:

$$P = \frac{P_T}{P_B} \quad (2.12)$$

де P_T – поточне значення тиску, кПа;

P_B – базове значення тиску ($P_B = 5$ кПа);

- симплекс теплот фазового переходу:

$$R = \frac{r_T}{r_B} \quad (2.13)$$

де γ_B – базове значення питомої теплоти пароутворення ($\gamma_{\text{ацетону}} = 525$ кДж/кг).

В результаті обробки наведеної бази даних було отримано критеріальне рівняння (5.15):

$$W = 1,29 \cdot N^{1,43} \cdot P^{0,08} \cdot R^{-0,2} \quad (2.14)$$

Адекватність отриманого співвідношення (2.14) перевірена порівнянням розрахункових і експериментальних значень параметричного комплексу безрозмірної паропродуктивності W модуля для всіх харчових систем.

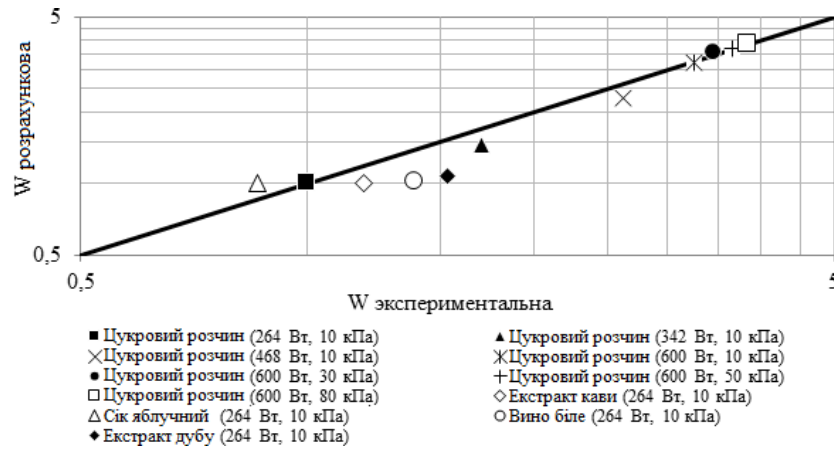


Рис. 2.9. Порівняльна залежність експериментальної безрозмірної паропроодуктивності (W_E) з розрахунком по (2.14).

Отримана залежність дозволяє розрахувати паропроодуктивність мікрохвильового вакуум-випарного модуля безперервної дії при рівні безрозмірної потужності $1 \leq N \leq 2,27$, в діапазоні безрозмірного тиску $2 \leq P \leq 16$ та при рівні безрозмірної теплоти фазового переходу $3,32 \leq R \leq 4,56$. Забезпечує точність з максимальним відхиленням в $\pm 8\%$.

2.8 Оптимізація мікрохвильової модульної випарної установки.

Розглянемо схему вакуум-випарного апарату, що містить ряд модулів з електромагнітними генераторами (рис. 2.10).

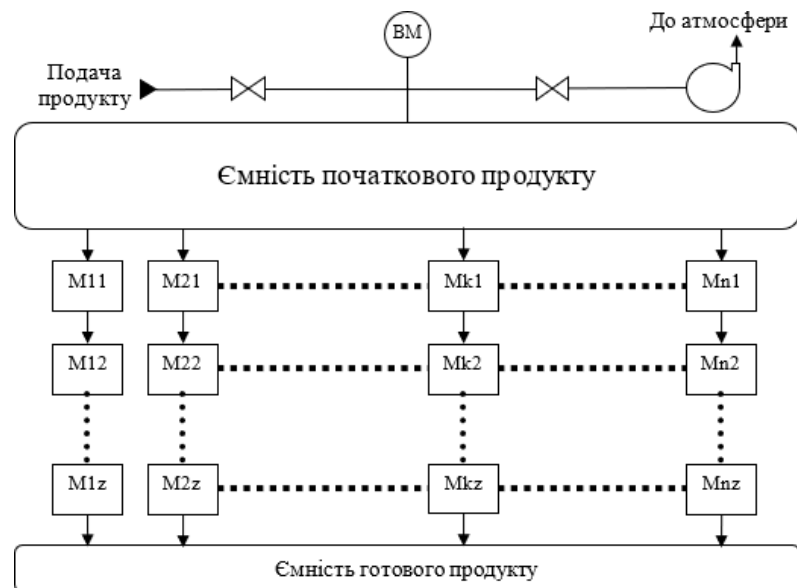


Рис. 2.10. Принципова схема вакуум-випарної установки з мікрохвильовими модулями з різними потужностями генераторів.

Установка містить накопичувальну ємність, вакуум-насос, патрубк подачі розчину, систему електромагнітних клапанів, ємність для збору концентрату. Самі модулі зібрані групами в вертикальних осях (від 1 до z) та в горизонтальних рівнях (від 1 до k).

Наведена схема реалізує технологічний регламент:

$$\frac{\partial W_m}{\partial \tau} = \text{const} \quad (2.15)$$

Звісно, модулі горизонтальних рівнів працюють в режимі:

$$N_{11} = N_{21} = \dots = N_{n1} = \text{const} \quad (2.16)$$

$$N_{11} > N_{12} > \dots > N_{1z} \quad (2.17)$$

Таким чином, за допомогою регулювання потужності мікрохвильових генераторів забезпечуються необхідні параметри продуктивності з видалення пари по горизонтальним рівням установки.

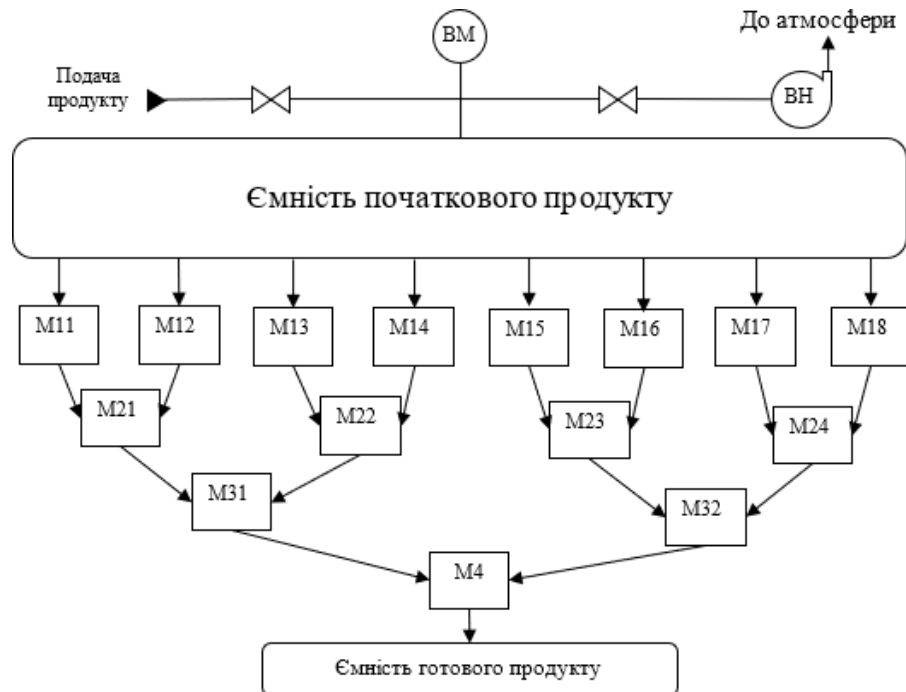


Рис. 2.10. Принципова схема вакуум-випарної установки з мікрохвильовими модулями з рівними потужностями генераторів.

Модульний принцип досить гнучкий, і дозволяє реалізовувати різноманітні схеми їх включення. Запропоновано схему, де забезпечується робота при однаковому навантаженню всіх модулів (рис. 2.10).

Рациональні умови функціонування установки:

- в модулі випарувати рівно половину розчину, що надійшов;
- загальне число модулів в установці (рис. 2.10) визначається ступенем концентрування розчину, тобто числом ступенів (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Компонування модулів багатоступінчастої установки при їх роботі в режимі однакових потужностей МХ поля

Ступінь підвищення концентрації	Число ступенів						
	1	2	3	4	5	6	7
4	2	1					
6	4	2	1				
8	8	4	2	1			
10	16	8	4	2	1		
12	32	16	8	4	2	1	
14	64	32	16	8	4	2	1

Аналіз таблиці 2.6 дозволяє припустити, що ефективність установки з підвищенням необхідного ступеня підвищення концентрації знижується. Ймовірно, концентрування розчинів з низьким вмістом цільових компонентів доцільно проводити на установках традиційного виконання. А високі концентрації – отримувати на установках з МХ генератором.

Очевидно, що можливі й інші варіанти компоновки модулів, а оптимізація схеми вимагає системного аналізу, підходів логістики. Цільовою функцією моделювання можна прийняти мінімум енергетичних витрат, або комплексний економічний критерій.

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Розробка карти безпеки праці

З метою впровадження безпечних умов праці під час виконання робіт на лінії з виробництва виробництві харчових концентратів, нами було розроблено карту безпеки праці (рис. 3.1) в якій особливості та умови роботи оператора.

1. Загальна інформація Посада: оператор відділення екструдуювання кукурудзяних паличок Тривалість робочого часу: 1 зміна. 7:00-18:30. Проходження медогляду: 1 раз на рік Проходження вторинного інструктажу з ОП – 1 раз на 6 міс. Термін дії картки: 08.06.2028 року, за умови не введення змін у хід технологічного процесу.	2. Забезпечення одягом та ЗІЗ Головний убір – 1 раз на рік Черевики шкіряні на жаростійкій підшві – 1 раз на 6 міс. Нарукавники бавовняні – 1 раз на 3 міс. Рукавиці трикотажні – до зносу Респіратор – до зносу Навушники протишумові – до зносу Захисні окуляри – до зносу
3. Вимоги перед початком роботи Робітник повинен оглянути і надіти спецодяг. Робітник повинен підготувати робочу зону для безпечної роботи Про виявлені при огляді порушення і недоліки доповісти безпосередньому керівнику і до їх усунення до роботи не приступати.	4. Вимоги під час роботи Робітник зобов'язаний виконувати тільки ту роботу, по якій пройшов навчання і до якої допущений. Забороняється доручати свою роботу ненавченим і стороннім особам. Робітник повинен застосовувати необхідні для безпечної роботи справне устаткування, інструмент, пристосування.
5. Вимоги охорони праці при закінченні роботи Після закінчення роботи привести в порядок робоче місце, інструменти, пристосування прибрати у відведене місце. Зняти і здати на збереження спецодяг та інші засоби захисту. Виконати правила особистої гігієни. Повідомити керівнику і змінника про всі порушення і зауваження, виявлених в процесі роботи.	6. Вимоги охорони праці в надзвичайних ситуаціях При виникненні ситуацій, які можуть привести до аварії і нещасних випадків, слід негайно: - припинити всі роботи; - відключити використовуване обладнання; - доповісти керівнику робіт. При отриманні травми, отруєння або раптового захворюванні потерпілому повинна бути надана перша (долікарська) допомога
Контакти служб екстреної допомоги	
	

Рис. 5.1 – Карта безпеки праці оператора екструдера

3.2 Утилізація відходів виробництва

Управління утилізацією відходів є важливим аспектом на підприємствах з виробництва харчових концентратів, оскільки цей процес впливає на ефективність, сталість та екологічну прийнятність виробництва.

В підприємства по виробництву харчових консервантів має бути чіткий план утилізації відходів, який враховує всі етапи виробництва та види відходів, що утворюються: відходи сировини; відходи від сепарування кукурудзяної крупи; відходи від контролю готової продукції.

Ці відходи потребують належного управління та обробки, щоб зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та забезпечити дотримання екологічних стандартів. Використовувати спеціальні технології та процеси для мінімізації відходів та їх подальшої утилізації або переробки.

Ефективне управління включає заходи з мінімізації утворення відходів. Завод постійно працює над впровадженням ефективних технологій та процесів, що дозволяють знизити кількість відходів, утворюваних під час екстракції та обробки сировини.

Всі працівники підприємства повинні регулярно проходити навчання щодо правильної утилізації відходів та її важливості. Навчання та свідоме ставлення персоналу сприяють успішному управлінню утилізацією відходів. Ефективне управління утилізацією відходів на заводі допомагає досягти сталості, екологічної прийнятності та оптимізації виробничого процесу.

«Санітарно-захисна зона підприємства складає 300 м (III клас), громадські, житлові будинки, об'єкти охорони здоров'я та культури, пам'ятники архітектури та культурної спадщини, зони ландшафту, що охороняється, межі історичних ареалів, прибережно-захисні лінії у межах нормативної СЗЗ відсутні.

Висновки за розділом

В даному розділі кваліфікаційної роботи було розроблено карту безпеки праці оператора екструдера лінії з виробництва кукурудзяних паличок та визначено шляхи утилізації відходів виробництва.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

4.3 Впровадження МХ ВВМ для удосконалення ліній при виробництві харчових концентратів

Удосконалення лінії виробництва рідкого концентрату кави.

Наразі на ринку каво продуктів зростає попит на рідкі концентрати кави. Із 2002 року у США почався випуск концентрату «Liquid coffee». Такий концентрат зручно дозувати в автоматах кави, його пакують у 3-5 літрові ємності. В основі технології – концентрування екстрактів кави у традиційних випарних апаратах.

В роботі Терзієва С.Г., було представлено лінію виробництва рідкої кави (рис. 4.1), інноваційність якої полягала у введенні в експлуатацію МХ екстрактора. Його використання дозволяло отримати високоякісний водний екстракт кави, як альтернативу енергоємному виробництву розчинної кави.

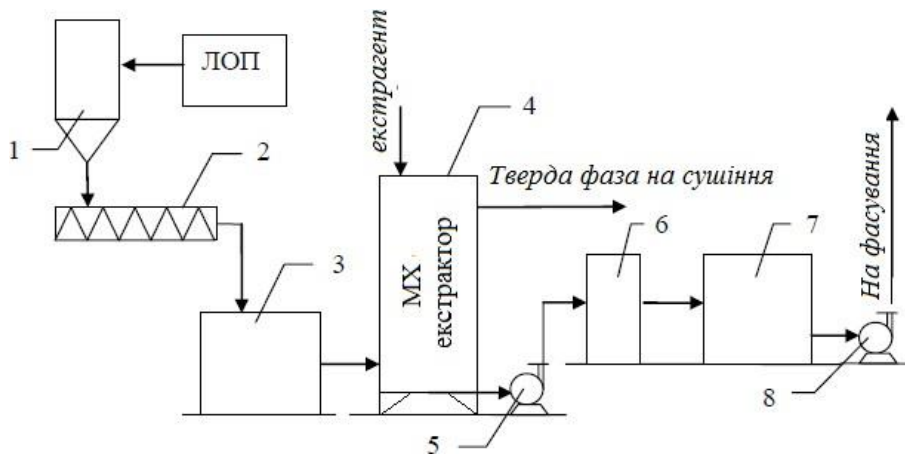


Рис. 4.1. Лінія виробництва рідкої кави.

Після проходження лінії обжарювання та помолу (ЛОП) оброблені зерна кави накопичуються в бункері 1, з якого за допомогою шнеку 2 подаються до пункту завантаження в касети 3. Далі контейнери із сировиною потрапляють до МХ екстрактора 4. Після процесу екстрагування отриманий екстракт насосом 5 нагнітається до накопичувальної ємності 7 через фільтр 6. Наприкінці отриманий продукт насосом 8 відправляється на фасування.

Кінцева концентрація отриманого екстракту не перевищує 40°brix. З одного боку це досить високий показник продуктивності МХ екстрактора. Однак в логістичному аспекті доцільно підвищити концентрацію задля отримання економічного ефекту при транспортуванні продукту. Для цього пропонується додати до лінії МХ ВВУ із модулів. Використання такої установки дозволить досягти 80-90°brix (рис. 4.2) без втрати смакових та ароматичних компонентів, оскільки вся випарна система абсолютно герметичната працює в умовах вакууму.

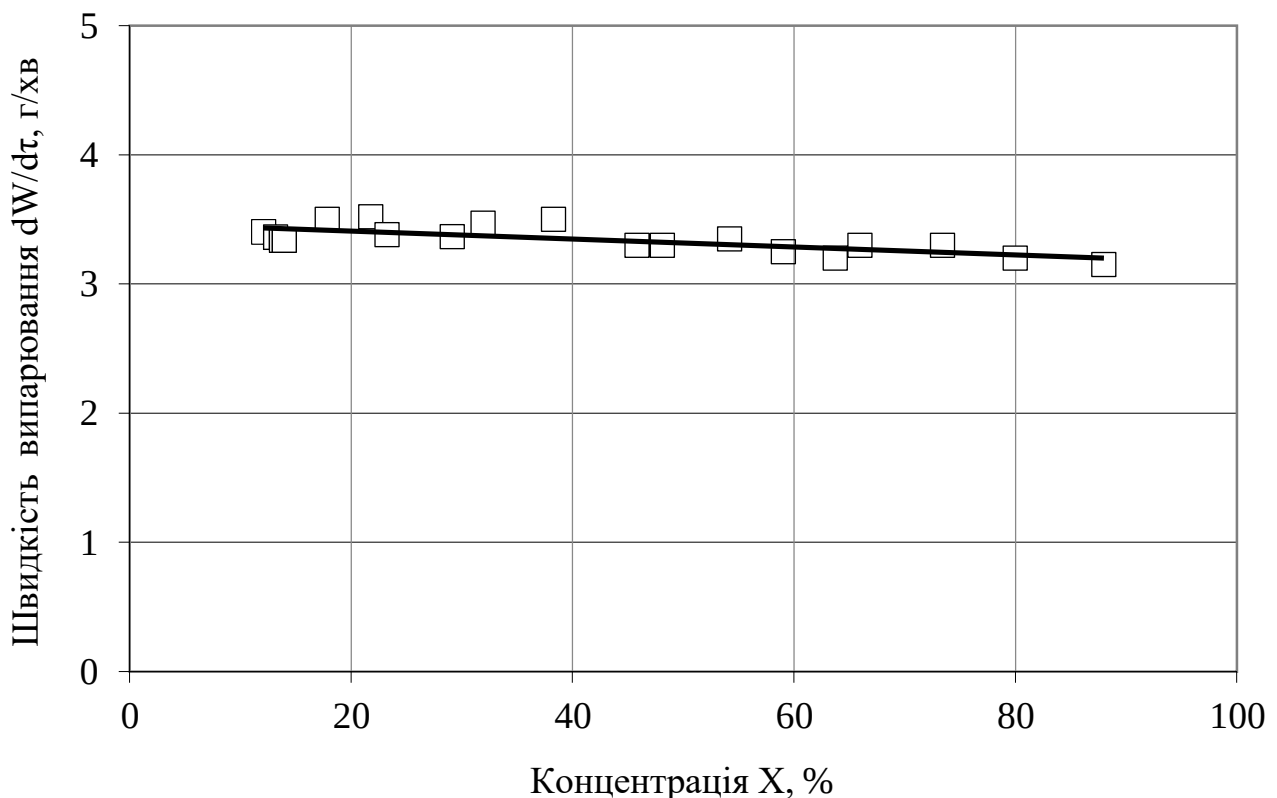


Рис. 4.2. Зміна швидкості випарювання екстракту кави в залежності від концентрації.

В результаті проведення експериментальних досліджень процесу випарювання на базі МХ ВВА було концентрація рідкого екстракту кави була підвищена до 88°brix.

Удосконалення лінії виробництва соків.

Розглянемо схему класичної технології виробництва концентрованих соків (рис. 4.3) [9]:

- **Надходження сировини.** Отриману сировину завантажують в бункери з нержавіючої сталі. Миття сировини відбувається в цеху переробки, куди вона потрапляє завдяки водяному та механічному транспортуванню.
- **Обробка сировини.**

По водних траншеях продукт доставляється на мийку. Вентиляторні мийні машини відмивають в холодній воді сировину від різноманітних забруднень, до яких можна віднести і хімічні (наслідки обприскування фруктів, овочів) і подаються інспекційними конвеєрами на сортувальники для відкалібровування пошкодженої сировини. Потім сировина подається в дробарку для подрібнення, після чого піддається пресуванню стрічковим або гідравлічним пресом. Відходи, отримані внаслідок пресування (шкірка, насіння, тощо), використовують в якості корму у фермерському господарстві. Окрім того, можливий варіант переробки даної вторинної сировини (наприклад, при виробництві яблучного пектину).

- **Підготовка соку.** Одержаний внаслідок пресування непрозорий віджатий сік після пастеризації охолоджується і відправляється за температури 50- 55°C на певні технологічні процеси ферментної обробки, тривалістю до 5-6 годин. На цьому етапі проводиться вплив на нерозчинні елементи соків різноманітними ферментними сполуками для організації їх розчинення – амінокислоти, цукри, пептиди та ін. Оптимальний підбір порцій і типів ферментів сприяє підвищенню ступеня освітлення соку до 80%. Далі відбувається охолодження соку до 2°C і направлення на подальше фільтрування за рахунок механічних фільтрів або ультрафільтрацією. Агрегат заповнений безліччю тонких трубочок з мембрани, який за структурою можна порівняти з дрібнопористим поролоном. Сік під тиском пропускається через мембрану, тому навіть найдрібніші частинки м'якоті в'яжуть в мембрані, а очищений сік проходить далі.
- **Випарювання та фасування соку.** Отриманий прозорий сік відправляють у ВВА, на якому після випарювання отримують сік концентрацією 70-75°brix.

Фасування концентрату відбувається на установках асептичного розливу у 200-літрові бочки. Це сприяє його досить тривалому зберіганню.

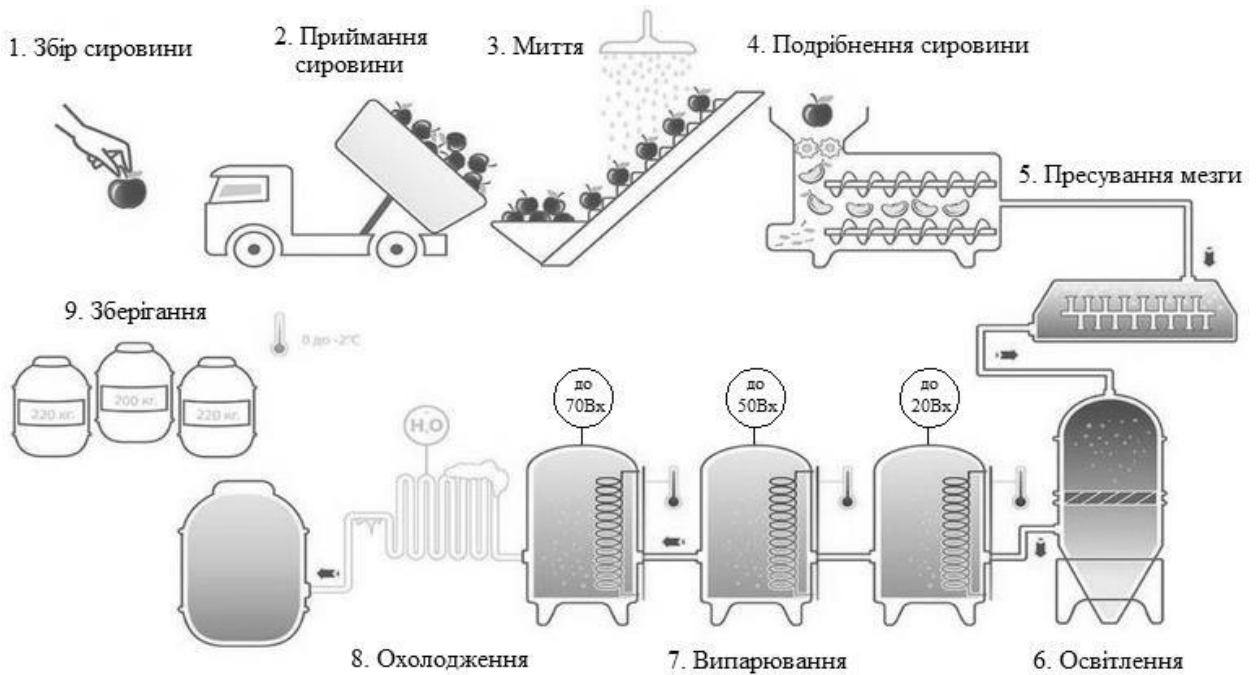


Рис. 4.3. Технологія виробництва соків.

Як видно на схемі, зображеній на рис. 4.2, для концентрування розчину використовується багатоступенева ВВУ. Цей варіант є досить розповсюдженим, оскільки з'являється можливість використовувати енергію вторинної пари першого ступеня в якості гріючої пари другого і т. д. Однак з підвищенням концентрації безумовно буде зростати і в'язкість продукту разом із пограничним шаром на стінках установки, що зумовлює значне підвищення температури та унеможливує продовження процесу випарювання без завдання шкоди смаковим та поживним яким кінцевого продукту. В такому разі для концентрування пропонується використовувати представлений в даній роботі МХ модуль. Результати експериментальних досліджень процесу випарювання гранатового соку на базі інноваційного модуля відображені на рисунку 4.4. В якості кінцевого продукту було отримано концентрат із вмістом сухих речовин 95°brix.

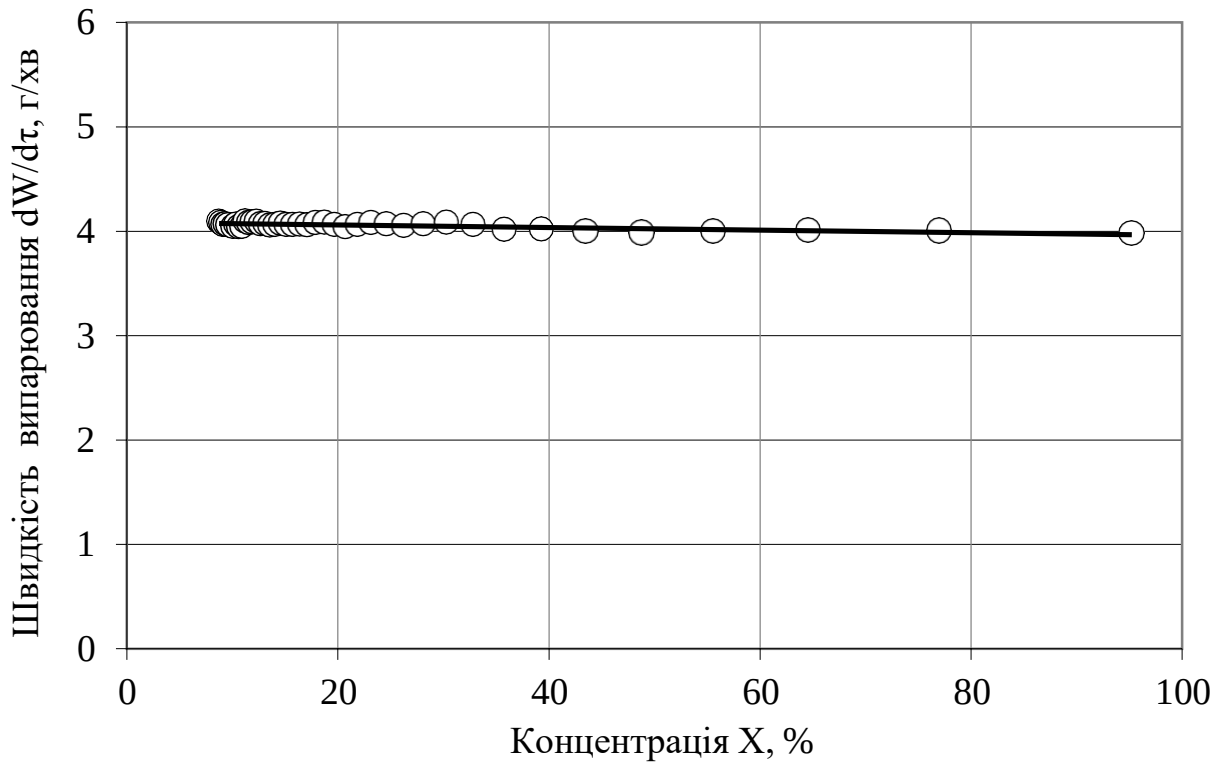


Рис. 4.4. Зміна швидкості випаровування гранатового соку в залежності від концентрації.

На прикладі гранатового соку були проведені випробування у виробничих умовах вакуумного мікрохвильового випарного апарату.

Удосконалення лінії виробництва томатної пасти.

Лінія виробництва томатної пасти включає в себе 7 основних етапів (рис. 4.5):

- на першому етапі томати завантажуються до бункеру насипом або із попереднім вивантаженням із спеціальної тари, в якій помідори надходять до підприємства;
- стрічковим конвеєром помідори з бункеру відправляють до мийної машини, де відбувається очищення від різноманітних забруднень, пестицидів та ін.;
- на інспекційному транспортері з ополіскуванням працівники відбирають непридатну сировину (недозріла, зіпсована, гнила). Також, на цьому етапі додатково очищують томати, які пройшли недостатнє промивання на другому етапі;

- придатні помідори відправляються до подрібнювача, де відбувається розрізання великих овочів на дрібні частини, після чого всю сировину перетирають у гомогенізовану масу;
- далі у ВВА відбувається концентрування отриманої маси. Внаслідок перетирання виходить напіврідка маса, відповідно до цього з'являється необхідність підвищення кількості сухих речовин;
- у буферних ємностях до томатної маси додають сіль;
- кінцевий продукт (томатну пасту) ділять на порції та розливають в тару для продажу.



Рис. 4.5. Виробнича лінія отримання томатної пасту.

Однією з головних вимог до ВВА в лінії є можливість безперервної роботи. Використання інноваційного мікрохвильового вакуум-випарного апарату безперервної дії в даній виробничій схемі дасть змогу отримати продукт з більш високою кінцевою концентрацією (до 50-55°brix) у порівнянні із традиційними технологіями (до 25-30°brix), що значно підвищить термін зберігання готової продукції без завдання шкоди якості. Результати експериментальних досліджень процесу випарювання томатної пасту представлені на рисунку 4.6.

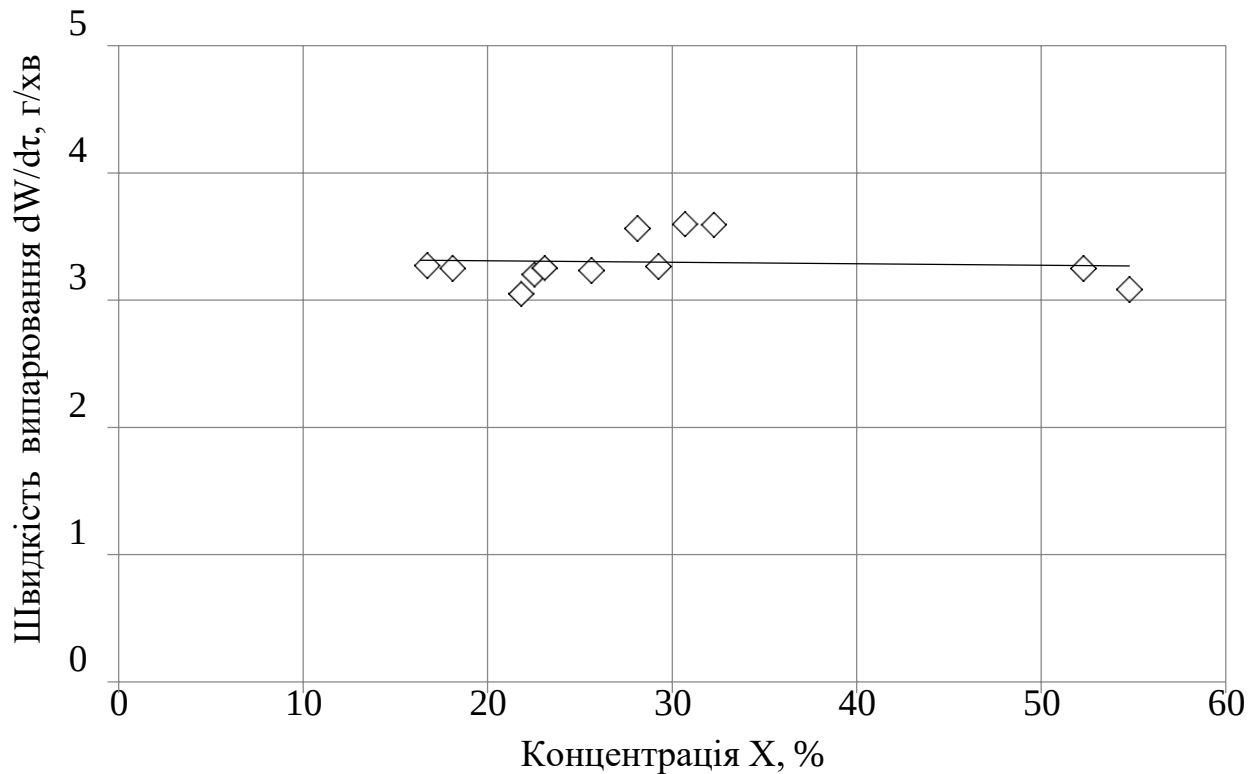


Рис. 4.6. Зміна швидкості випарювання томатної пасти в залежності від концентрації.

4.4 Економічний ефект впровадження МХ ВВА

Транспортування є досить важливою складовою будь-якого виробництва, оскільки воно слугує зв'язуючою ланкою між споживачем і виробником. З часом транспорт отримав статус складної та взаємозалежної галузі, функціонування якої полягає у споживанні вагової частини енергетичного та природного потенціалу світу.

Для оцінки економічної ефективності роботи проводиться аналіз вартості вантажоперевезень соку. Для розрахунку було прийнято усереднену вартість перевезення 10 т продукту на відстань 1 км у розмірі 20 грн. Таким чином було побудовано графік залежності вартості перевезення від відстані для неконцентрованого продукту (рис. 4.7):

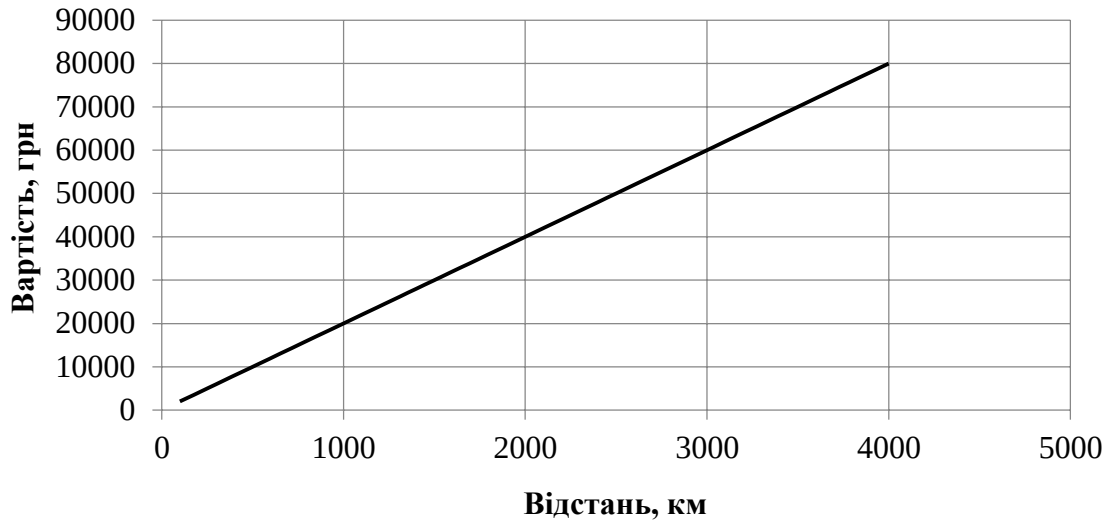


Рис. 4.7. Залежність вартості перевезення від відстані.

На наступному етапі визначена вартість перевезення в залежності відступення концентрування продукту (рис. 4.8). Початкова концентрація продукту (X_H) в середньому становить 12%. Розглянемо варіанти (рис. 4.8), коли концентрація підвищувалася в 1,5; в 2 та в 4 рази. Тобто кінцева концентрація становила, відповідно, 18%, 24% и 48%.

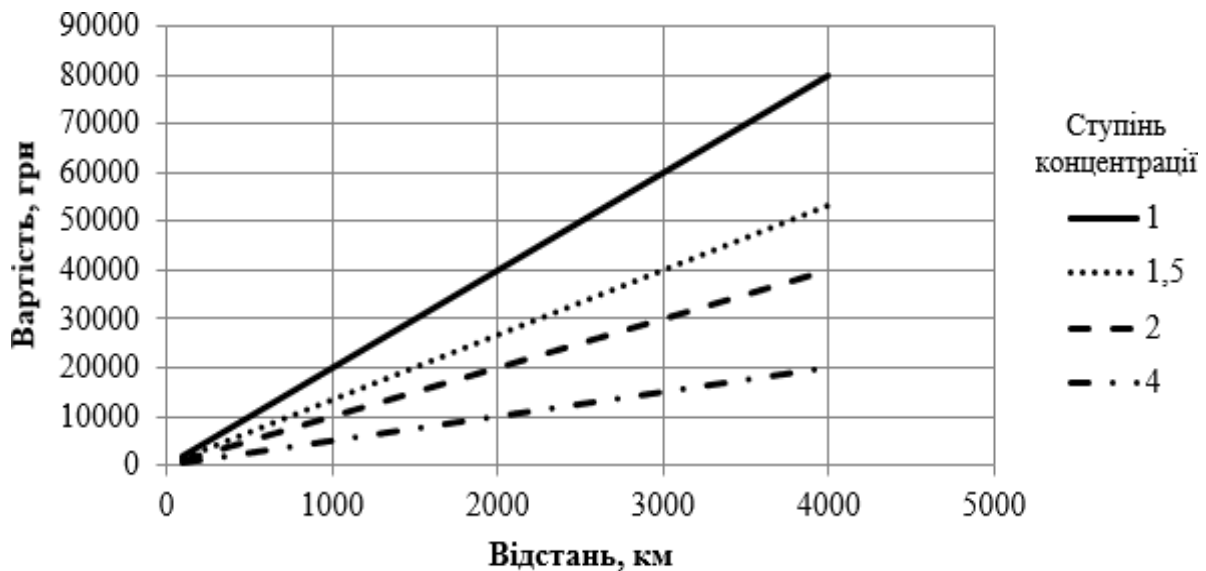


Рис. 4.8. Вплив ступеня концентрування соку на вартість перевезення на різні відстані.

Таким чином, ми з'ясували, що вартість перевезення 10 т неконцентрованого соку на відстань 1000 км складає 20 000 грн. Але якщо

сконцентрувати сік у 1,5 рази до значення 18%, то об'єм становитиме вжене 10 т, а 6,67 т, а вартість, відповідно, – 13 333 грн. Аналогічно визначаємо вартість транспортування для соків сконцентрованих вдвічі і у чотири рази. Після цього можна розрахувати економію від перевезення концентрованих соків як різницю між вартістю не концентрованого та концентрованого соку. Наступним етапом є побудування номограми для визначення економічної ефективності концентрування соків (рис. 4.9).

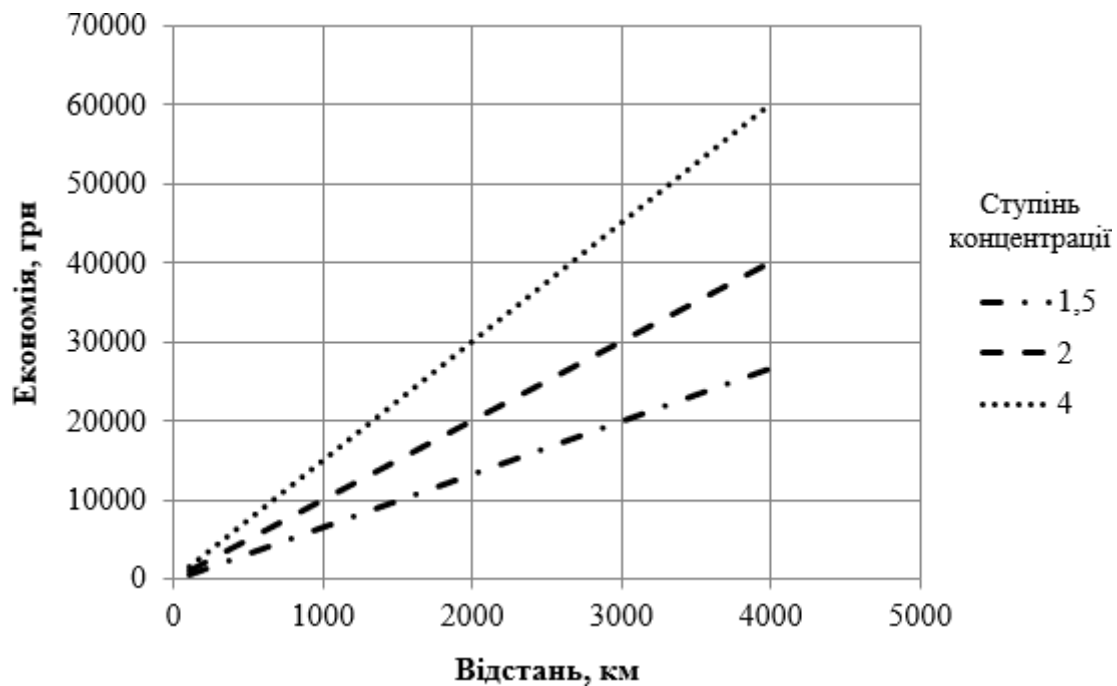


Рис. 4.9. Економія від вартості перевезення в залежності від відстані.

З наведеної номограми можна визначити економію при перевезенні концентрованих продуктів на різні відстані. У 2019 році Україні експортувала соків на загальну суму 67,7 млн євро [15]. Відмічається, що серед країн ЄС головними покупцями є Польща (16,5 тис. тон продукту – 32% усіх поставок з України), Австрія (16,5 тис. тон – 32%) та Німеччина (10,6 тис. тон – 21%). Для прикладу розглянемо економію при доставці продукту з України до цих країн (рис. 4.10-4.12).

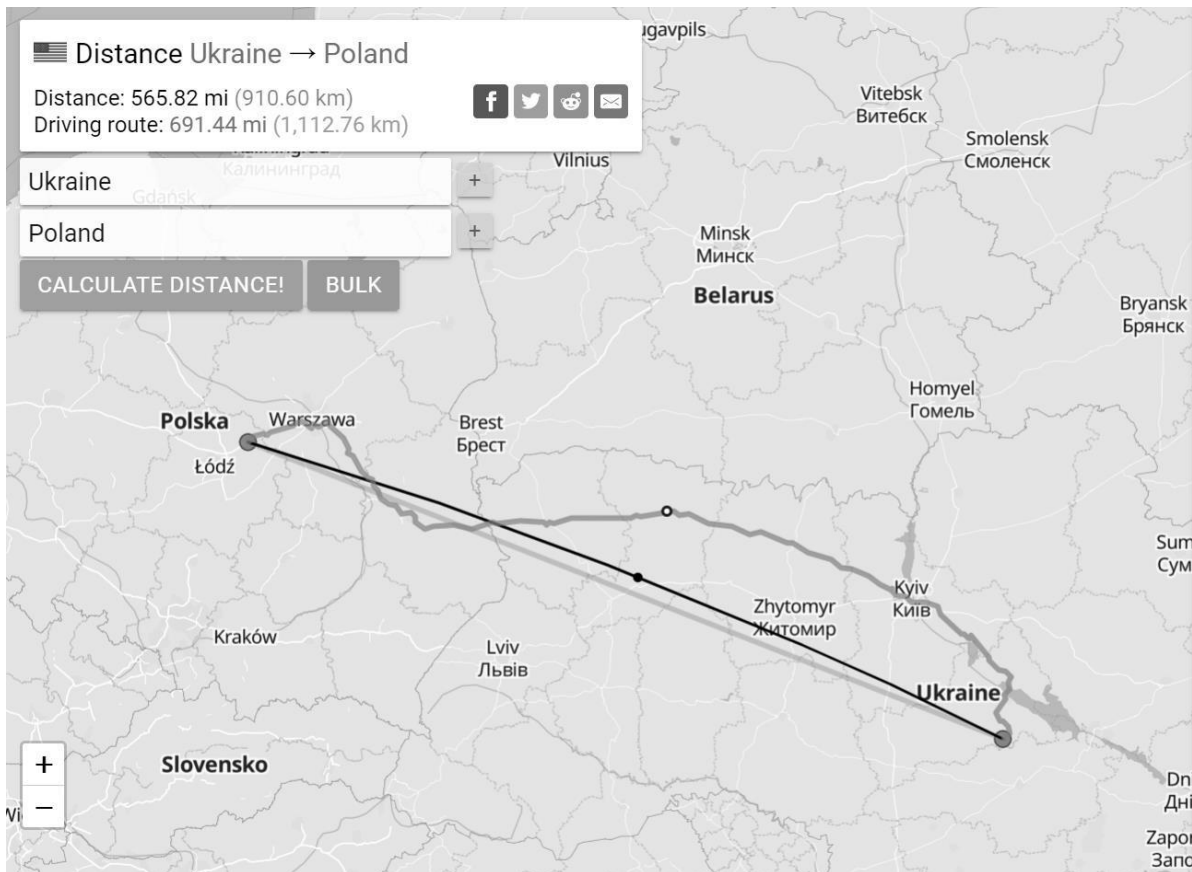


Рис. 4.10. Відстань від України до Польщі.

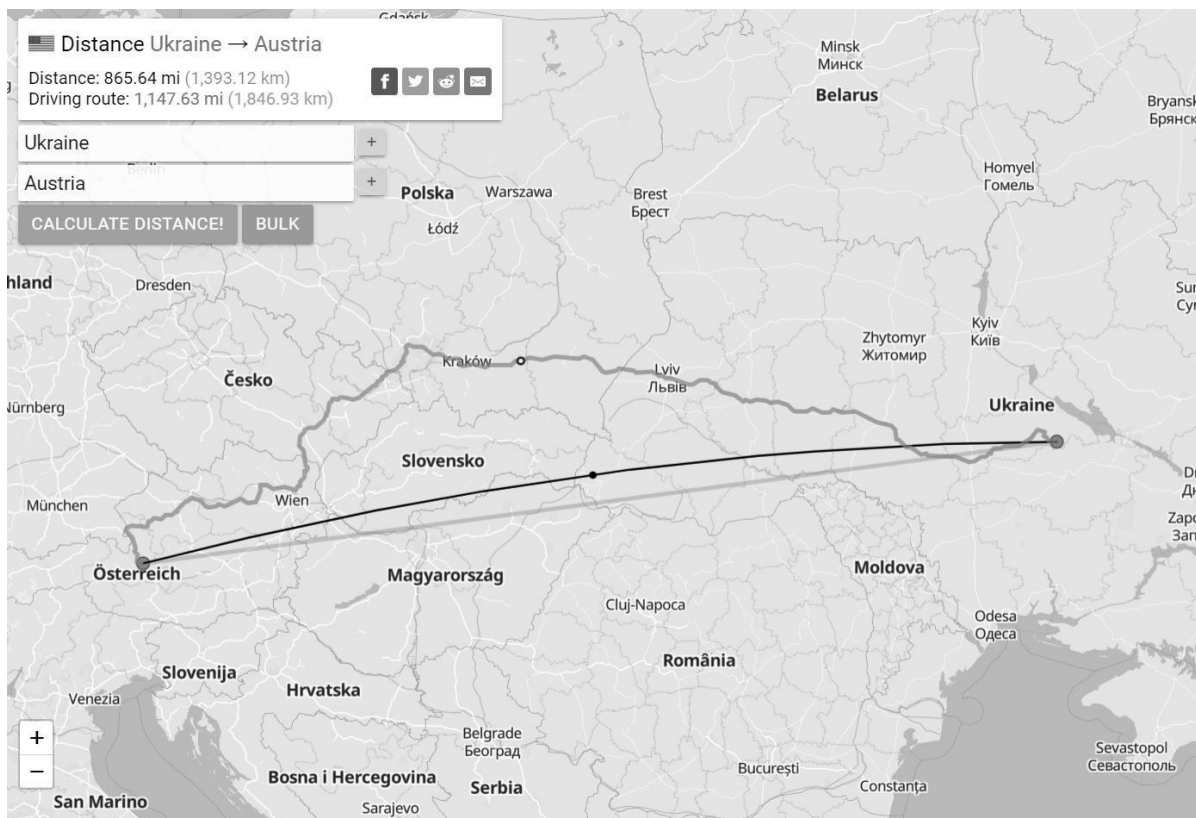


Рис. 4.11. Відстань від України до Австрії.

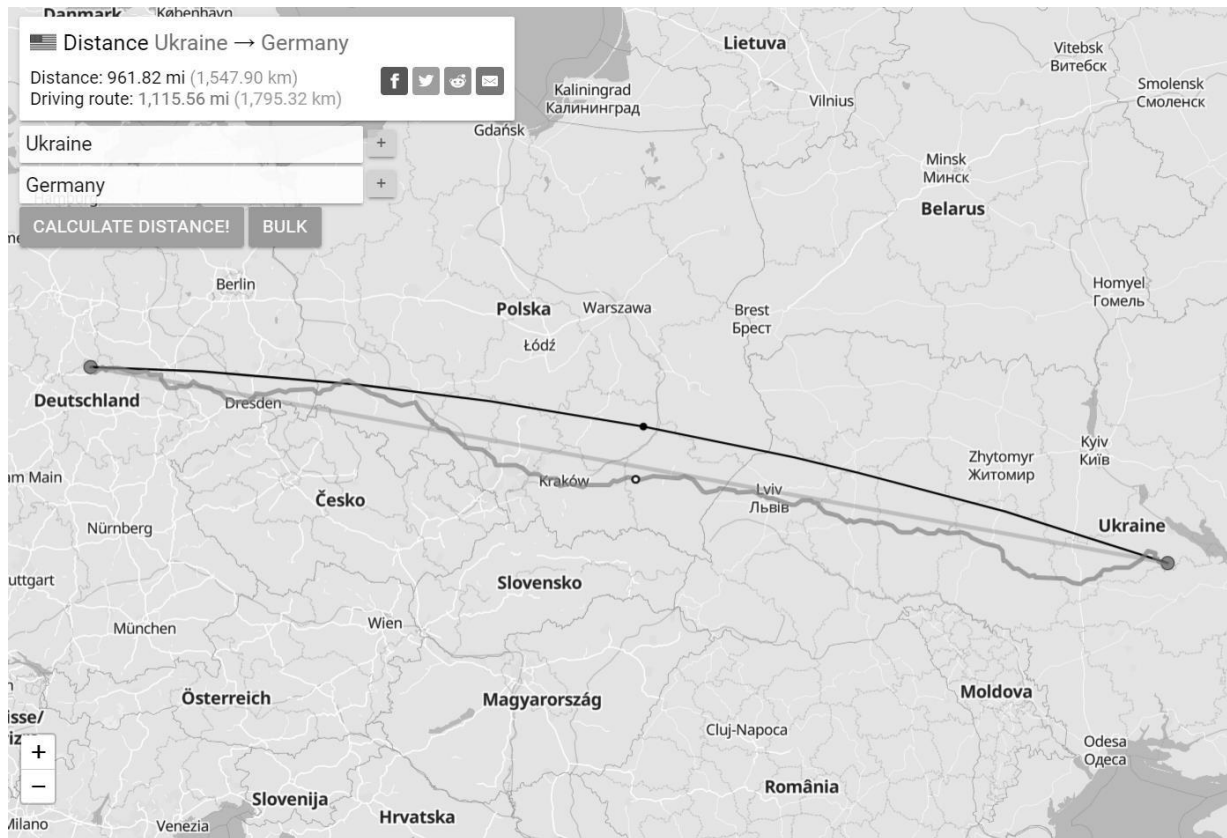


Рис. 4.12. Відстань від України до Німеччини.

Таким чином було складено таблицю, де вказана економія від перевезення продуктів до наведених країн (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Економія від перевезення концентрованого продукту до різних країн світу

Концентрація продукту	Економія (за 10 тон), грн		
	Польща	Австрія	Німеччина
18%	7420	12315	11970
24%	11130	18470	17955
48%	16700	27705	26930
60%	17800	29560	28720
72%	18550	30785	29920
84%	19100	31560	30770

З наведеного вище можна зробити висновок, що високоякісний концентрований продукт займає менші об'єми і потребує менших витрат енергії при зберіганні та палива при транспортуванні.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Розглянуті можливі варіанти впровадження модуля у виробництво рідкої кави, соків та томатної пасти. Представлені можливі перспективи його використання в лініях.

2. Проведені розрахунки економічного ефекту від впровадження інноваційного MX BVM на логістику.

ВИСНОВКИ

В результаті проведення комплексного аналітичного та експериментального моделювання доведено, що застосування електромагнітного випромінювання, яке зумовлює направлену енергетичну дію на полярні молекули рідини організовує процес випарювання при граничних умовах II роду, що дає змогу досягти високих кінцевих концентрацій без зниження якості продукту через відсутність теплопередачі.. Ефективність визначалась часткою корисно використаною енергією від енергії первісного палива. Результати всієї послідовності конверсії енергії наведено у вигляді діаграми Санкей. В результаті було визначено, що ефективність традиційної лінії зневоднення становить 22%, а інноваційної – 28%.

1. В результаті визначення впливу ключових параметрів була отримана модель з узагальненими змінними, яка в певних діапазонах безрозмірних параметричних комплексів (тиску та теплоти пароутворення) забезпечує точність розрахунку числа енергетичної дії для мікрохвильового вакуум-випарного апарату періодичної дії із максимальним відхиленням в $\pm 8\%$.

2. Вирішена проблема визначення ККД інноваційного модуля при отриманні моделі у вигляді узагальнених змінних (оскільки він є індивідуальним для кожної конструкції) за рахунок ділення базового значення числа енергетичної дії (отриманого при таруванні паропродуктивності модуля) на поточне. Отримана модель із коефіцієнтами, розрахованими на основі даних експериментальних досліджень процесу випарювання певного ряду харчових систем, дає можливість визначити паропродуктивність мікрохвильового вакуум-випарного модуля безперервної дії в певних діапазонах безрозмірних параметрів рівняння із точністю в межах $\pm 8\%$.

3. Проведені розрахунки економічного ефекту від впровадження інноваційного MX BVM на логістику.

Список використаних літературних джерел.

- 1 Gabor D., Colombo U., King A.S. *Beyond the age of waste: a report to the Club of Rome*. Elsevier, 2016. 258 p.
- 2 Clapp J., Newell P., Brent Z. W. The global political economy of climate change, agriculture and food systems. *The Journal of Peasant Studies*. 2018. vol. 45, no. 1, pp. 80-88.
- 3 Cai, X., Wallington, K., Shafiee-Jood, M., & Marston, L. Understanding and managing the food-energy-water nexus-opportunities for water resources research. *Advances in Water Resources*, 2018. 111, pp. 259-273.
- 4 Govindan K. Sustainable consumption and production in the food supply chain: A conceptual framework. *International Journal of Production Economics*, 2018. 195, pp. 419-431.
- 5 Бурдо О.Г. Інноватика енерготехнологій харчової індустрії в умовах глобальних проблем людства. *Scientific Works*. 2021. № 1. Т. 85. С. 4-14. doi: 10.15673/swonaft.v85i1.2082.
- 6 Prosekov A. Y, & Ivanova S. A. Food security: The challenge of the present. *Geoforum*, 2018. vol. 91, pp. 73-77.
- 7 Marsden T. Theorising food quality: some key issues in understanding its competitive production and regulation. *In Qualities of food. Manchester University Press*. 2018. pp. 129-155.
- 8 S. Chantasiriwan. Simulation of quadruple-effect evaporator with vapor bleeding used for juice heating // *International Journal of Food Engineering* 2016, Vol. 2, No. 1, pp. 36-41.
- 9 G. Ryabcev. The Problem of Informal Impact in The Activities of Regulatory Authorities and The Ways Of Its Solutions. *Strategic Priorities*. 2017, vol. 44, №. 3, pp. 59-66.
- 10 Кирич Н. Б., Кінаш І. А. Ресурсоощадність харчових переробних підприємств вимога дня. *Book of abstracts International scientific and*

technical conference" *State and prospects of food science and industry*". THTY, 2015. c. 196-198.

- 11 Balin B. E., Akan D. M. EKC hypothesis and the effect of innovation: A panel data analysis. *Journal of Business Economics and Finance*, 2015, vol. 4, no.1, pp. 81-91.
- 12 Ul'ev L.M., Vasil'ev M.A. Heat and power inte-gration of processes for the refinement of coking products. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2015, vol. 49, no.5, pp. 676-687.
- 13 Hosovskyi R., Kindzera D., Atamanyuk V. Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks. *Chemistry & Chemical technology*. 2016, vol. 10, no. 4. pp. 459-464.
- 14 Atamanyuk, V., Huzova, I., Gnativ, Z. Study of diffusion processes in pumpkin particles during candied fruits production. *Food science and technology*, 2017, vol. 11, no.4, pp. 21-28.
- 15 Sorokovaya N.N., Cnezhkin Ju. F., Shapar R.A., Sorokovoy R.Ya. Sposob Sushki Termolabilnyih Materialov v Lentochnoy Ustanovkes Prime-neniem Teplovogo Nasosa[The Method of Thermolabel Materials Drying in a BandDrying Unit Through Using a Thermal Pump]. *Scientific works (ONAFТ)*, 2015, vol. 1, no. 47, pp. 91-97.
- 16 Smirnov H.F., Zykov A.V., Reznichenko D.N. The determination of energy source optimal parameters for vacuum evaporation. *Scientific works (ONAFТ)*, 2016, vol. 80, no.1, pp. 133-137.
- 17 Kamiński, J., Leduc, G., Energy efficiency improvement options for the EU food industry. *Polityka energetyczna*, 2010, vol. 13, p. 81. doi: 2790/158316
- 18 Vittuari, M., De Menna, F., Pagani, M., The Hidden Burden of Food Waste:the Double Energy Waste in Italy. *Energies*, 2016, vol. 9, p. 660. doi: 10.3390/en9080660
- 19 Wang, L., Energy efficiency technologies for sustainable food processing, *Energ. Effic.*, 2014, vol. 7, p. 791. doi: 0.1007/s12053-014-9256-8

- 20 Suleimenova, M.S., Kulazhanov, T.K., Akhmetova, S.O., Daribayev, Z.E., et al., Food security and ecological safety of megalopolis: a case study analysis, *J Secur. Sustain.* 2018, vol. 7, no. 3, p. 495. doi: 10.9770/jssi.2018.7.3(10)
- 21 Бурдо О.Г. *Эволюция сушильных установок*. Одесса: Полиграф, 2010. 368 с.
- 22 Qiu L.Q., Zhang M., Tang J., Adhikari B. et al. *Food Res Int.* 2019, 116, 90-102.
- 23 Priyadarshini A., Rajauria G., O'Donnell C.P., Tiwari B.K. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2019, 59(19), 3082-3101.
- 24 Rawal M., Singh A., Amiji M.M. *Pharm Res.* 2019, 36(11), 1-20.
- 25 Goodman E.M., Redmond J., Elia D., Harris S.R., Augustine M.B., Hand R.K. Practice Roles and Characteristics of Integrative and Functional Nutrition Registered Dietitian Nutritionists. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2018, vol. 118, no. 12, pp. 2356-2369. doi: 10.1016/j.jand.2018.03.027
- 26 Sabarez, Henry T. "Thermal Drying of Foods." *Fruit Preservation*. Springer, New York, NY, 2018. 181-210.
- 27 Kumar, C., and M. A. Karim. "Microwave-convective drying of food materials: A critical review." *Critical reviews in food science and nutrition* 59.3 (2019): 379-394.
- 28 Hnin Kay, Khaing, Zhang Min, Mujumdar, Arun, S. et al. Emerging food drying technologies with energy saving characteristics: A review, *Dry. Technol.*, 2019, vol. 37, no. 12, p. 1465. doi: 10.1080/07373937.2018.1510417
- 29 Sabarez, H. T., S. Keuhbauch, and K. Knoerzer. "Ultrasound assisted low temperature drying of food materials." *IDS 2018. 21st International Drying Symposium Proceedings. Editorial Universitat Politècnica de València*, 2018. p/1245-1250.
- 30 Monteiro R.L., Link J.V., Tribuzi G., Carciofi B.A.M. et al. "Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices." *Journal of food engineering* 232, 2018: 1-10.

- 31 M.M., Joardder M.U.H., Khan M.I.H., Pham N.D. et al. "Multiscale model of food drying: Current status and challenges." *Critical reviews in food science and nutrition* 58.5, 2018: 858-876.
- 32 Kumar, Y., Tiwari, S., Belorkar Seema, A., Drying: An Excellent Method for Food Preservation. *I.J.E.S.T.A.*, 2015, vol. 1, no. 8, p. 1.
- 33 Arefin, A., Mallik, A., Sonmoy, K., Nahian, S.R.A.l., et al., Drying and Dehydration Technologies: A Compact Review on Advance Food Science, *Research & Reviews: J. of Food and Dairy Technology*, 2017, vol. 5, no. 4, p. 37. doi: 10.15406/mojfpt.2018.06.00142
- 34 Chantasiriwan, S., Increased Energy Efficiency of a Backward-Feed Multiple-Effect Evaporator Compared with a Forward-Feed Multiple-Effect Evaporator in the Cogeneration System of a Sugar Factory, *Processes*, 2020, vol. 8, p. 342. doi: 10.3390/pr8030342
- 35 Mikhailik, V.A., Dmitrenko, N.V. Snezhkin, Y.F. Investigation of the Influence of Hydration on the Heat of Evaporation of Water From Sucrose Solutions. *J Eng Phys Thermophy*, 2019, vol. 92, pp. 916-922. doi: 10.1007/s10891-019-02003-8
- 36 F. Khajehei, M. Niakousari, M. H. Eskandari, M. Sarshar. Production of Pomegranate juice concentrate by complete block cryoconcentration process // *Journal of Food Process Engineering*, 2015, Vol. 38, Issue 5, pp. 488-498.
- 37 Kudra, T. Energy Performance of Convective Dryers. *Drying Technology*, 2012, vol., 30, №11-12, pp. 1190-1198. doi:10.1080/07373937.2012.690803
- 38 Zambon, A., et al. "Supercritical CO₂ drying of food matrices." *IDS 2018. 21st International Drying Symposium Proceedings. Editorial Universitat Politècnica de València*, 2018. p. 17-23.