

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ODESSA NATIONAL ACADEMY
OF FOOD TECHNOLOGIES



НАУКОВІ
ПРАЦІ
SCIENTIFIC
WORKS

Том 80
Випуск 1

Volume 80
Issue 1

ОДЕСА
2016

ISSN 2073 – 8730

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ

ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

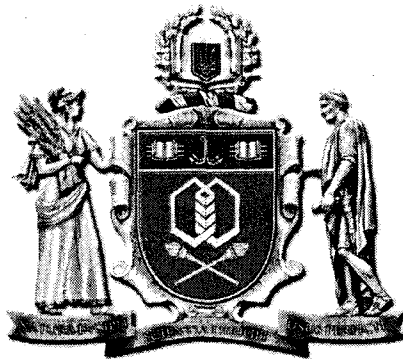
ODESSA NATIONAL ACADEMY OF FOOD TECHNOLOGIES

НАУКОВІ ПРАЦІ

SCIENTIFIC WORKS

ТОМ 80
ВИПУСК 1

VOLUME 80
ISSUE 1

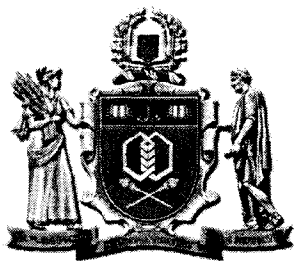


ОДЕСА

2016

ББК 36.81 + 36.82
УДК 663 / 664

Міністерство освіти і науки України



НАУКОВІ ПРАЦІ

Том 80, Випуск 1

Засновник:
Одеська національна
академія харчових
технологій

Засновано в Одесі
у 1937 р.
Відновлено з 1994 р.

Наукові праці внесено до Переліку наукових фахових видань України наказом Міністерства освіти і науки України 09.03.2016 р. № 241 (технічні науки)

Головний редактор
Заступник головного редактора
Відповідальний редактор

Єгоров Б.В., д-р техн. наук, проф.
Капрельянц Л.В., д-р техн. наук, проф.
Бурдо О.Г., д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія:

Амбарцумянц Р.В., д-р техн. наук, проф.
Безусов А.Т., д-р техн. наук, проф.
Віннікова Л.Г., д-р техн. наук, проф.
Гапонюк О.І., д-р техн. наук, проф.
Жигунов Д.О., д-р техн. наук, доцент
Іоргачева К.Г., д-р техн. наук, проф.
Коваленко О.О., д-р техн. наук, ст. наук. співр.
Крусір Г.В., д-р техн. наук, проф.
Мардар М.Р., д-р техн. наук, проф.
Мілованов В.І., д-р техн. наук, проф.
Осипова Л.А., д-р техн. наук, доцент
Павлов О.І. д-р екон. наук, проф.
Плотніков В.М., д-р техн. наук, доцент
Савенко І.І., д-р екон. наук, проф.
Тележенко Л.М. д-р техн. наук, проф.
Ткаченко Н.А., д-р техн. наук, проф.
Ткаченко О.Б., д-р техн. наук, доцент
Хобін В.А., д-р техн. наук, проф.
Хмельнюк М.Г., к.т.н., доцент
Станкевич Г.М., д-р техн. наук, проф.
Черно Н.К., д-р тех. наук, проф.

Технічний редактор Ружицька Н.В.

Реєстраційне свідоцтво
КВ №12577-1461 ПР
від 16.05.2007р. Видано Міністерством
юстиції України.

Усі права захищені.
Передрук і переклади дозволяються лише зі
згоди автора та редакції.

Рекомендовано до друку та розповсюдження
в мережі Internet Вченою радою Одеської
національної академії харчових технологій,
протокол № 12 від 01.07.2016 р.

Мова видання:
українська, російська, англійська

За достовірність інформації
відповідає автор публікації

Матеріали друкуються мовою оригінала.
Передрукування матеріалів журналу
дозволяється лише за згодою редакції.
Ліцензія СС-BY.

До уваги авторів. З 01.01.2016 було змінено нумерацію випусків журналу «Наукові праці». Номер тому відповідає року з моменту заснування журналу, номер випуску – випуску журналу в поточному році.

Одеська національна академія харчових технологій

Наукові праці – Одеса, Одеська національна академія харчових технологій: 2016. – Том 80, Вип. 1. – 160 с.

Адреса редакції:

вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, e-mail:
terma_onaft@rambler.ru
np_onaht@ukr.net

© Одеська національна академія харчових
технологій, 2016 р.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 66.021.3.086:[66.061.3-035.2:615.451.1]

МАССОПЕРЕНОС ПРИ ЭКСТРАГИРОВАНИИ ИЗ ЛЕЧЕБНОГО
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ
MASS-TRANSFER IN EXTRACTION FROM MEDICAL VEGETABLE
MATERIAL IN ELECTROMAGNETIC FIELD

Бурдо О.Г., д-р техн. наук, профессор, Бурдо А.К., канд. техн. наук, доцент,
Альхури Юсеф, аспирант, Сиротюк И.В., магистрант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса
Burdo O.G., Burdo O.K., Alhuri Yu., Syrotyuk I.
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



В работе представлен критический анализ технологий экстрагирования из лекарственного растительного сырья. Показано, что в различных отраслях техники предпочтение отдается микроволновым способам подвода энергии. Приведены результаты комплексных экспериментальных исследований процессов экстрагирования из клюквы, калины, черноплодной рябины и шиповника. Опыты проводились на 3 стендах – в термостате, в микроволновом экстракторе в неподвижном слое и в микроволновом экстракторе при циркуляции экстрагента. Методика предусматривала определение концентрации экстракта, температуры плодов и потока, давления в реакционном объеме, потребляемой мощности во времени. Проведено сравнение кинетических зависимостей насыщения экстракта целевыми компонентами по традиционной технологии и в микроволновом экстракторе. Установлено влияние вида энергии, температуры, вида сырья, гидромодуля и расхода экстрагента на интенсивность массопереноса. Результаты опытов приведены в виде зависимостей во времени концентрации экстракта от мощности микроволнового поля, температуры, гидромодуля, размера плода и расхода потока. Эффективность экстрагирования оценивалась с помощью спектральных зависимостей. Обоснованы выводы и рекомендации по организации процесса экстрагирования из лекарственного растительного сырья в микроволновом поле.

Critical analysis of medicinal plant raw material extraction technology is presented. It is shown, that in different technology sectors favour microvare method of energy supply. Results of complex experimental researchings of cranberry, guelder rose, chokeberry and rose hip extraction processes are given. The tests were organised on three stands – on the thermostat, microve extractor with fixed layer and microvave extractor with extagent circulation. The methodics includes the definition of extract concentration, temperatures of fruits and flow, preasure in the recreational volume, power consumption in time. The kinetic dependences of extract saturation with target components on traditional technologies and at the microvare extractor were compared. The impact of energy type, temperature, raw material type, hydromodule and extragent consumption on mass transfer intensity is indentified. The results are submitted in the form of dependences in time between extract concentration and microwave field capacity, temperature, hydromodule, fruit size and flow consumption. The extraction effectiveness was measured through the spectral dependences. The conclusions and recommendations on organisation of process of medicinal plant raw material extraction in the microwave field are justified.

Ключевые слова: Лекарственное растительное сырье, экстрагирование, микроволновой экстрактор, экспериментальное моделирование.

Key words: medicinal plant raw material, extraction, microvave extractor, experimental simulation.

Введение. Современная эпоха характеризуется бурным развитием инновационных технологии в отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности, в том числе био- и нанотехнологии, позволяющих значительно расширить выработку продуктов нового поколения с заданными качественными характеристиками, лечебно-профилактических, геронтологических и других специализированных продуктов. Разработка технологий и оборудования для производства функциональных продуктов является важным и актуальным направлением научных исследований. В рамках стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Украины на

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

период до 2020 года поставлена цель, заключающаяся в обеспечении гарантированного и устойчивого снабжения населения страны безопасным и качественным продовольствием.

Наблюдается устойчивая тенденция роста интереса и к препаратам из лекарственного растительного сырья (ЛРС) [1]. Возможность длительного безопасного применения препаратов растительного происхождения благодаря мягкому терапевтическому действию, минимизации противопоказаний наряду с высокой эффективностью, оправдывает их широкое использование при лечении различных заболеваний. Однако, несмотря на неоспоримые преимущества, спрос на отечественные фитопрепараты превышает их наличие, что объясняет актуальность разработки новых препаратов на основе ЛРС.

Сама идея фитотерапии широко поддерживается Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). По мнению ее экспертов, в лечении примерно 75% больных целесообразно применять препараты растительного происхождения; задачей медицинской науки в этом случае становится органичная интеграция фитотерапии в систему здравоохранения. ВОЗ издаются специальные монографии о лекарственных растениях, содержащие экспериментальную и клиническую доказательную базу по каждому из включенных наиболее широко используемых 235 растений. Монографии о лекарственных растениях издаются также Европейским научным объединением по фитотерапии (European Scientific Cooperative On Phytotherapy). В составе Европейского медицинского агентства по лекарственным средствам (European Medicines Agency) функционирует Комитет по лекарственной продукции растительного происхождения, основным объектом деятельности которого является изучение применения лекарственных растений в практической медицине. Кроме того, ВОЗ разработаны соответствующие нормативные документы, поддерживающие концепцию GMP (Good Medical Practice) и оговаривающие необходимые требования к надлежащей практике культивирования и сбора лекарственных растений (Good Agricultural and Collection Practices — GACP) (World Health Organization, 2003) [2].

В работе представлены результаты комплексных исследований технологий экстрагирования из наиболее распространенного сырья: шиповника и черноплодной рябины [3]. Приведены

Анализ литературных источников и формулировка проблемы. Теоретические основы процесса экстрагирования изложены в многочисленных работах, например в [4 - 9]. Эффективность экстрагирования в значительной степени зависит от способа подготовки сырья к этому процессу, поскольку клеточная проницаемость сырья существенно определяется формой и размером дисперсного состава частиц.

Механические методы интенсификации на стадии подготовки сырья необходимы для увеличения поверхности контакта фаз, что достигается за счет уменьшения размера частиц. Однако гидродинамические условия фильтрования экстрагента через слой частиц по мере уменьшения их размера значительно ухудшаются. Это значит, что для каждого вида сырья и условий протекания процесса экстрагирования существует определенный рациональный размер частиц, при котором суммарное внутреннее и внешнее диффузионное сопротивление является минимальным.

На стадии подготовки сырья к экстрагированию термические методы также направлены на уменьшение внутреннего диффузионного сопротивления. Они снижают устойчивость цитоплазматических мембран, приводят к разрыву клеток сырья, экстрагент более свободно проникает в клетку и увеличивается контакт сырья с растворителем [10]. Действие тепловой обработки основано на коагулирующем и обезвоживающем воздействии на белковые вещества, что вызывает гибель растительной клетки. Нагревание повышает выход сока, инактивирует внутриклеточные окислительные ферменты, уменьшает микробную обсемененность, разрушает восковую оболочку, частично денатурирует белки оболочки сырья и увеличивает проницаемость ткани [11]. Термические методы интенсификации на стадии проведения процесса направлены на увеличение коэффициента диффузии экстрагируемого вещества. Однако воздействие высоких температур может привести к ухудшению качества получаемого экстракта либо изменению физических свойств частиц. Так, например, под действием высоких температур могут изменяться упругие свойства сырья, что может привести к ухудшению условий массоотдачи и соответствующему увеличению внешнего диффузионного сопротивления, вследствие чего суммарное диффузионное сопротивление окажется не меньшим, а большим. Поэтому термические методы на данной стадии нельзя считать существенным средством интенсификации процесса [10, 11].

Использование микроволновых технологий (МВТ) позволило интенсифицировать процесс тепловой обработки сырья и экстрагирование устойчивых растворимых веществ водной средой. Положительные результаты использования электромагнитного импульсного излучения были получены: при производстве пищевых красителей из свеклы [12], плодово-ягодного сырья [13], в схеме ускоренного дозревания коньячных спиртов [17], при извлечении кедрового масла из семян сосны сибирской [15], в лабораторных условиях для ускорения извлечения фунгицидов из древесных материалов [16], при получении соевого масла [17], при извлечении масел из листьев мяты, розмарина, чайного дерева, сандала и других растений [15], при экстрагировании никотина из табачного сырья [19].

Совершенствования в технологии экстрагирования происходит на трех основных стадиях: стадия подготовки сырья; стадия экстрагирования; стадия дальнейшей обработки раствора. На первой стадии для повыше-

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ния выхода растворимых веществ используют процессы с эффектом взрывного набухания, что способствует увеличению удельной поверхности и созданию развитой пористости [20]. Применяют обработку ферментными препаратами (ксилоглюканоксидиназа) [21], увлажняют зерна с последующим его набуханием [22], его измельчение, введение благородных газов для повышения ароматики [23].

На второй стадии основной упор делается на интенсификацию массопереноса. Чаще всего этого добиваются, изменяя гидродинамические условия за счет перемешивания экстрагируемой массы [24], используя действие центробежных сил в центрифугах [25], УЗ-волны, воздействие высоковольтных импульсных разрядов. Кроме того, повышают давление внутри аппарата (0,3 МПа...1,2 МПа), увеличивают длительность взаимодействия фаз (24...48 часов), используют обогащающий раствор растворимого компонента [26].

На последней заключительной стадии главной задачей является сохранение всех свойств готового продукта. Для этого распылительную сушку заменяют сублимационной, снижающую потери ценных веществ. При этом может проводиться, например, вспенивание [27], низкотемпературная технология распылительной сушки (при 140 °C), которая позволяет в значительной мере сохранить аромат [28, 29].

По результатам проведенного выше обзора литературных и патентных источников можно сделать следующие выводы.

1. Примеры интенсификации электрофизическими методами процессов переноса при экстрагировании и мировой опыт применения МВТ в пищевых технологиях определяют целесообразность исследований в данном направлении и при производстве ЛРС.

2. Сравнительный анализ показывает перспективность нового при производстве ЛРС направления: интенсификация массопереноса при использовании микроволновых технологий на стадии экстрагирования.

3. На сегодняшний день экстракционные аппараты комбинированного действия и методы их расчета отсутствуют. Примеров практического использования МВТ в технологиях получения экстрактов из ЛРС в литературе не обнаружено. Однако, данные, приведенные выше, свидетельствуют об активной работе над созданием экстракторов, использующих МВТ.

Для традиционных технологий производства экстрактов из ЛРС характерны серьезные научно-технические противоречия. С одной стороны для сохранения целебных качеств препаратов, которые в большинстве случаев являются термолабильными, ограничиваются уровни термического воздействия в процессе массопереноса. А это приводит к тому, что экстрагирование продолжается неделями. Решение этих противоречий лежит в плоскости применения инновационных электрофизических технологий адресной доставки энергии [30 - 33] к отдельным элементам ЛРС. Предварительные работы авторов в этом направлении [34] подтверждают перспективность заявленного направления.

Экспериментальные стенды и методика исследований. Во всех опытах поддерживался следующий порядок выполнения исследований.

На первом этапе проводилась подготовка образцов и стенда, которая включала следующие операции: измерение массы плодов (Мп) и экстрагента (Мв); устанавливалась мощность магнетрона (Nм). В процессе опытов с помощью пирометра и термопар измерялись температуры плодов в реакционном объеме и экстракта на входе и выходе из камеры. Расход экстрагента (V) определялся весовым методом, а оптическая плотность экстракта (D) с помощью фотокалориметра Spekol. Выборочно определялась концентрации экстракта классическим методом высушивания до постоянного веса. Концентрация экстракта (Хэ) определялась по тарировочной зависимости $X_{\text{э}} = f(D)$.

Методика обработки результатов наблюдений включала:

расчет массы перешедших в раствор веществ и концентрации целевых компонентов в плодах

$$m = X_{\text{э}} V_{\text{эрэ}} \quad C_i = C_n - X_{\text{э}}/\Gamma, \quad \Gamma = M_{\text{п}}/M_{\text{в}} \quad (1)$$

расчет коэффициента массоотдачи:

$$\beta = V_{\text{э}} X_{\text{э}} (X_{\text{н}} - X_{\text{э}})/F, \quad F = n f \quad (2)$$

расчет скорости потока и числа Рейнольдса:

$$w = \frac{Q_{\text{м}}}{\rho_{\text{а}} * S_{\text{п}}} \quad Re = w d / \nu \quad (3)$$

В (1) – (3) принято: рэ – плотность экстракта; Сн – начальное содержание целевых компонентов в плодах; F – площадь поверхности фазового контакта; n – число частиц, f – средняя площадь поверхности 1 частицы; Qм – массовый расход экстрагента; ρа – плотность экстрагента; Sп – площадь пористости; d – диаметр пористости; ν – вязкость экстрагента.

Кинетические зависимости получены для 3 разных способов экстрагирования, которые реализуются на установках (рис. 1):

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

- на базе термостата (имитирует традиционные принципы экстрагирования, рис. 1, а);
- на базе микроволновой камеры при неподвижном слое плодов шиповника (рис. 1, б);
- в микроволновом экстракторе конструкции ОНАПТ с циркуляционным контуром (рис. 1, в).

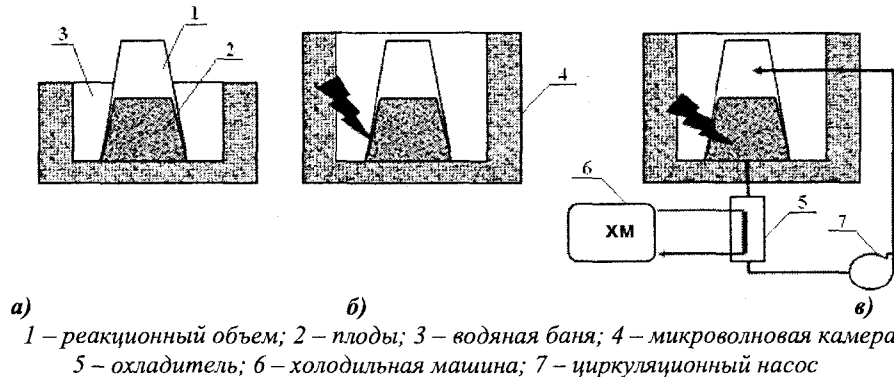


Рис. 1 – Экспериментальные стенды

Стенд с циркуляционным контуром и холодильной машиной (рис. 1, в) позволял постоянно поддерживать температуру в реакционном объеме на уровне 30 ... 45 °С, что существенно для сохранности пищевой ценности продукта. В качестве экстрагента исследовалась вода.

Опыты проводились в широком диапазоне изменения параметров (табл. 1).

Таблица 1 – Диапазон экспериментального моделирования

Сырьё	Давление, МПа	Температура, °С	Концентрация, %	Гидро модуль
Шиповник	0,01 – 0,1	45 - 90	8	1/1...1/4
Черноплодная рябина	0,1	40 - 100	9	2/1...1/2
Калина	0,1	60	6,3	1/2
Клюква	0,1	60	6	1/2

Опыты проводились с целыми и распиленными плодами, их частями.

Обсуждение результатов экспериментального моделирования. Программа опытов строилась так, чтобы была возможность анализировать данные экспериментов при постоянных значениях V_3 , Γ , N_m , F из которых формируются кинетические зависимости ключевого параметра - коэффициента массоотдачи (β , м/с): $\beta = f(V_3)$; $\beta = f(\Gamma)$; $\beta = f(N_m)$; $\beta = f(t)$; $\beta = f(F)$. Это позволяет оценить влияние основных факторов на интенсивность массопереноса.

Влияние электромагнитного поля. На первом этапе устанавливалось влияние вида энергии. Сравнивались опыты при традиционном и микроволновом подводе энергии (рис. 2). Опыты с черноплодной рябиной показали, что при экстрагировании в МВ-поле наблюдается значительное увеличение значений оптической плотности полученных экстрактов. В таблице 1 приведены результаты значений содержания сухих веществ в полученных экстрактах. Содержание сухих веществ в экстрактах, полученных при обработке в МВ-поле на порядок выше. Даже при длительном экстрагировании традиционными методами (при продолжительности процесса в 60 минут), выход экстрактивных веществ оказался в 2 раза меньше. Второй вывод из проведенных опытов можно сделать о рациональном времени процесса, и возможном ограничении его 30 минутами. Более того, экстракт из черноплодной рябины, полученный при обработке в МВ-поле обладает более высокими качественными показателями, чем экстракт, полученный традиционным способом.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика качества экстрактов черноплодной рябины при различной продолжительности процесса

Концентрация сухих веществ, % (экстрагирование при 40 °С)			
МВ-обработка (30 мин)	Традиционный способ (30 мин)	МВ-обработка (60 мин)	Традиционный способ (60 мин)
10%	1%	11 %	2%

Аналогичные результатам получены и при исследовании экстрагирования шиповника (рис. 2).

Опыты (рис. 2) проводились на стендах №1 и №2 с целыми плодами шиповника при гидро модуле 1:3 и температуре 65 °С. Видно (рис. 2), что на протяжении всего эксперимента применение МВ- генератора интенсифицирует процесс массопереноса в разы. Получено пятикратное повышение выхода целевых компонентов.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Влияние размера плода. Известно [30], что эффективность диффузии зависит от размера частиц. С точки зрения диффузионного извлечения наиболее эффективно экстрагирование из частиц более «тонкого» помола. Это связано с тем, что уменьшение размера частиц сокращает путь диффундирующих молекул, увеличивается поверхность контакта твердых частиц с жидкостью. Но, с другой стороны, более «тонкий» помол в ряде случаев приводит к ухудшению процесса извлечения водорастворимых веществ из зерна, так как при этом может уменьшаться смачиваемость пылевидных частиц, происходит их взаимная блокировка. На рис. 3 приведена зависимость гидромодуля и степени измельчения ягод черноплодной рябины на содержание сухих веществ в полученных образцах экстракта. С точки зрения концентрации экстракта лучшим является образец с измельченными ягодами и соотношением ягоды - экстрагент 2:1. Однако при этом процесс протекает при меньшей величине движущей силы. Поэтому, не все экстрагируемые вещества могут переходить в экстракт, то есть будут наблюдаться потери целевых компонентов сырья. Свидетельством этого являются результаты опытов, полученных на стенде №2, который был снабжен обратным холодильником и вакуум насосом. Это позволяло проводить исследования процесса экстрагирования в режиме кипения (рис.3), но при пониженных температурах (35 ... 50 °C). Поэтому, не все экстрагируемые вещества могут переходить в экстракт, то есть будут наблюдаться потери целевых компонентов сырья. Свидетельством этого являются результаты опытов, полученных на стенде №2, который был снабжен обратным холодильником и вакуум насосом. Это позволяло проводить исследования процесса экстрагирования в режиме кипения (рис.3), но при пониженных температурах (35 ... 50 °C).

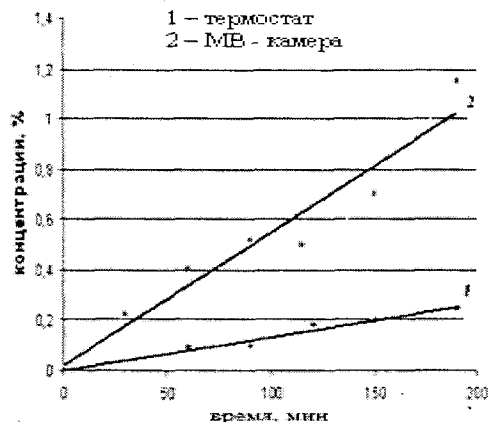
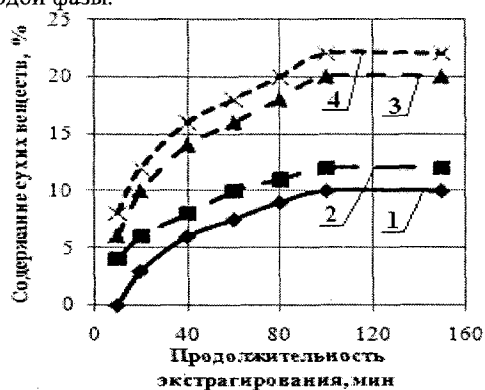


Рис. 2 – Сравнение интенсивности массопереноса при экстрагировании шиповника: 1 – стенд №1 (термостат); 2 – стенд №2 (микроволновая камера)

После исследования кинетики экстрагирования в вакууме (рис. 4, линия 1) плоды вторично заливались водой, измерялись изменения во времени концентрации экстракта (рис. 4, линия 2). Экстрагирование проводилось в неподвижном слое ($t = 45-50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Аналогично получена зависимость и для третьего залива (рис. 4, линия 3). Видно, что не все целевые компоненты извлечены после первого опыта. Поэтому, корректный вывод о влиянии гидромодуля можно сделать по величине коэффициента массоотдачи и на основе анализа линий истощения твердой фазы.



1 – целые 1:1; 2 – измельченные 1:1;
3 – измельченные 1:1; 4 – измельченные 2:1.

Рис. 3 – Влияние гидромодуля и степени измельчения ягод на кинетику экстрагирования черноплодной рябины

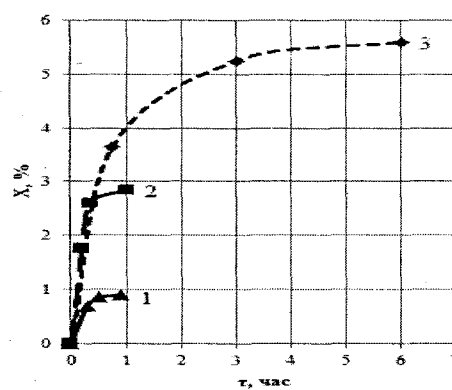


Рис. 4 – Изменение концентрации экстракта шиповника

Влияние вида энергии и размера плода иллюстрируется опытами с шиповником (рис. 5). Исследовались целые зерна в термостате (линия 1) и в МВ-экстракторе (линия 2). Интенсивность массопереноса из половинок зерен растет в разы (рис. 5, линия 3).

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Комплексное влияние температуры и мощности МВ – поля. Известно, что температура является фак-

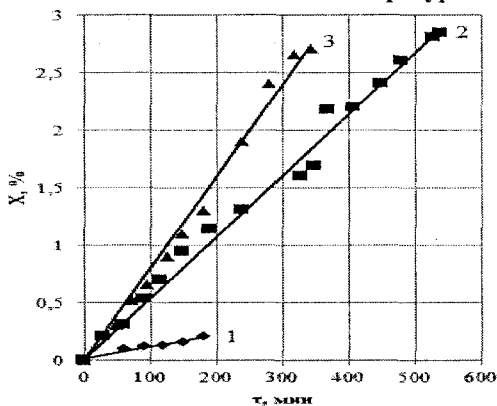


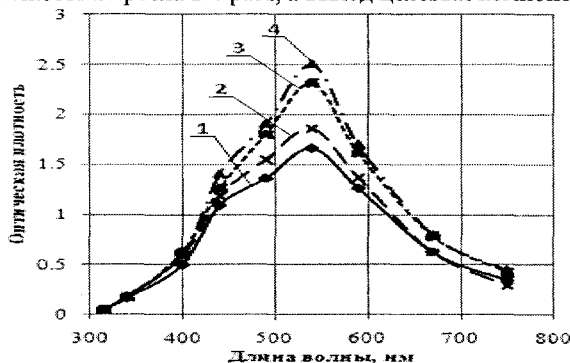
Рис. 5 – Влияние вида энергии и размера плодов

ром, значительно интенсифицирующим процесс извлечения водорастворимых веществ, так как ее увеличение приводит к возрастанию скорости экстрагирования [7]. Однако, спектральные кривые экстракта из черноплодной рябины, приведенные на рис. 6 показывают, что проведение процесса экстрагирования при высоких температурах приводит к разрушению комплекса биологически-активных веществ сырья. Проведение процесса в МВ-поле при температуре 40 °С дает результаты лучше, чем при высоких температурах, так как при этом не происходят физико-химические изменения сырья, что повышает функциональные свойства готового продукта.

В опытах с целыми плодами шиповником в неподвижном слое (стенды №1 и №2) сравнивалось комплексное влияние тем-

пературы и вида энергии. Оказалось, что за одинаковое время экстрагирования концентрация раствора была равной и для традиционной технологии, и для процесса в МВ – экстракторе (рис. 7). Однако опыты на стенде №1 проводились при уровне темпе-

ратур 70 °С (рис. 7, 1), а на стенде №2 - при 20 °С (рис. 7, 2). Энергоемкость процесса МВ – экстрагирования составляла 0,3 МДж на 1 кг плодов. При МВ – экстрагировании на уровне температур 70 °С (рис. 7, 3) энергоемкость выросла в 4 раза, а выход целевых компонентов – в 3,5 раза.



1 – 100 °С; 2 – 40 °С; 3 – 80 °С; 4 – СВЧ 40 °С.

Рис. 6 – Спектральные характеристики экстрактов черноплодной рябины

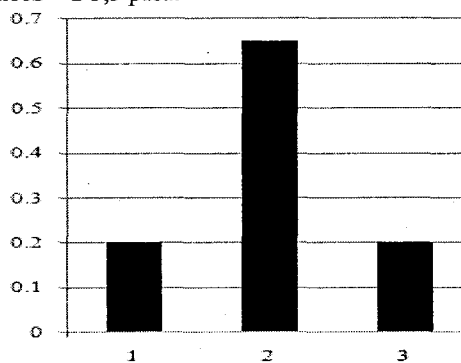


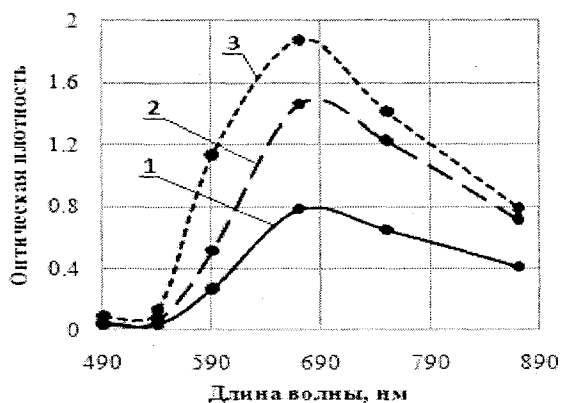
Рис. 7 – Влияние вида энергии и температуры на кинетику экстрагирования шиповника

Можно сделать вывод, что действие микроволнового поля влияет на скорость экстрагирования в большей мере, чем температура процесса (рис. 6, 7).

Влияние вида сырья. Разработка технологии извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья должна проводиться с учетом минимизации времени проведения процесса и энергозатрат. Полученный продукт должен быть безопасен в пищевом отношении по микробиологическим и физико-химическим показателям; а разработанная технология должна быть доступной для предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности, и легко внедряемой уже в существующие технологические линии производства продуктов питания. Объектами исследований определены: черноплодная рябина, клюква калина. Анализировались спектральные характеристики экстрактов (рис.8).

Экстракт из черноплодной рябины имеет большее значение оптической плотности (рис. 8). Черноплодная рябина содержит витамины (А, В, С, РР), микроэлементы (кобальт, медь, цинк, железо и т.д.), аминокислоты, органические кислоты, антоцианы, танины, флавоноиды. Особенной ценностью является ее способность концентрировать селен и накапливать йод. Содержание йода в ней 0,005...0,01 мг/100г, столько его содержится в красной смородине и хурме, а больше в плодах фейхоа, которые известны как лучшие концентраторы этого элемента. Но самой ценной составляющей черноплодной рябины являются биофлавоноиды, которые имеют Р-витаминные свойства – катехины, флавонолы, антоцианы [38-40]. То есть, черноплодная рябина содержит больше всего красящих веществ и функциональных компонентов и, соответственно, ценная как сырье для получения растительного экстракта.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



1 – калина; 2 – клюква; 3 – черноплодная рябина

Рис. 8 – Влияние вида сырья на оптическую плотность растительных экстрактов

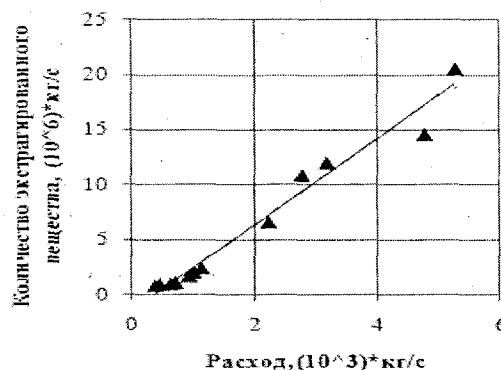


Рис. 9 – Влияние расхода экстрагента на интенсивность выхода целевых веществ

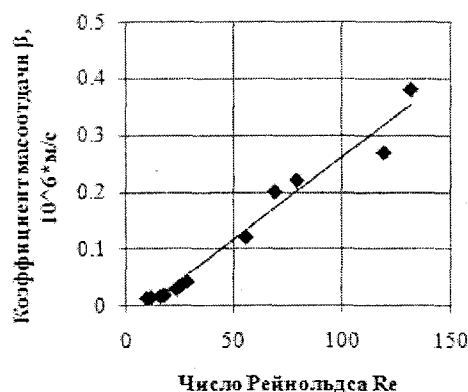


Рис. 10 – Зависимость коэффициента массоотдачи от числа Рейнольдса

Влияние скорости потока экстрагента. Задачей этой серии опытов являлось установить непосредственное влияние на массоперенос скорости потока экстрагента. Опыты проводились на стенде №3 с целыми плодами шиповника.

Результаты опытов позволяют сделать вывод, что с увеличением расхода в 5 раз, выход экстрактивных веществ растет практически на порядок (рис. 9). Объяснить этот факт можно тем, что уменьшается толщина диффузионного пограничного слоя и увеличивается площадь поверхности фазового контакта «плод - экстрагент». Вместе с тем режимы течения в слое плодов были ламинарные, о чем свидетельствуют значения чисел Рейнольдса (рис. 10).

Полученная зависимость (рис. 10) может использоваться при проектировании микроволновых экстракторов.

Выводы. Микроволновые технологии являются перспективным средством переработки лекарственного растительного сырья в процессах экстрагирования. Безградиентный подвод энергии во всем объеме плодов позволяет организовать мягкие режимы экстрагирования, получить качественный продукт при снижении энергетических затрат. Выход целевых компонентов осуществляется при температурах до 50 °С, продолжительность процесса сокращается в разы, а, иногда, и на порядок.

Литература

1. Безценная Т. С., Шульга Л. И. Перспективы использования лекарственного растительного сырья при создании многокомпонентных фитопрепаратов. Режим доступа: <http://ptcevolution.me/perspektivy-ispolzovaniya-lekarstvennogo-rastitelnogo-syrya-pri-sozdani-mnogokomponentnykh-fitopreparatov/>
2. Сергиенко О. М., Жигунова А.К. Роль и место фитотерапии в лечении состояний, сопровождающихся продуктивным кашлем. Режим доступа: <http://www.umj.com.ua/article/53537/rol-i-mesto-fitoterapii-v-lechenii-sostoyanij-soprovozhdayushhixsya-produktivnym-kashlem>

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3. Шиповник полезные свойства. Режим доступа: <http://www.medn.ru/statyi/SHipovnikroza.html>
4. М. Лонцин, Р. Мерсон Основные процессы пищевых производств: Пер. с англ.- М., 1983 – 384 с.
5. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 2 /Под общ. ред. Л.Л.Товажнянского.- Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 532 с.
6. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. М., 1981. – 200 с.
7. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе - вода». Одесса, 2007. – 176 с.
8. Лысянский В.М. Экстрагирование в пищевой промышленности / В.М. Лысянский, С.М. Гребенюк. – Агро-промиздат, 1987. – 188 с.
9. Теоретические основы тепло- и влагообменных процессов пищевой технологии / В.М. Харин, Г.В. Агафонов. – М.: Пищевая промышленность, 2001. – 343 с.
10. Белобородов В.В. Извлечение биологически активных веществ из пряноароматического сырья в системе процессов экстрагирования-отжим / В.В. Белобородов, В.Н. Брик, А.В. Прокофьев // Масло-жировая промышленность. – 1995. – № 3-4. – С. 24-27
11. Болотов В.М. Совершенствование технологии получения пищевых красителей из ягод аронии // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. – 2002. – №1. – С. 24.
12. Красители для пищевых продуктов: Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИП, 1989. – 15 с.
13. Христюк В.Т. Влияние электромагнитного поля на выход и состав клюквы / В.Т. Христюк, Л.Н. Узун, М.Г. Барышев // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2002. – № 4. – С. 73-74.
14. Терзієв В.Г. Інтенсифікація екстрагування у харчових технологіях В.Г. Терзієв, П.І. Осадчук, О.Г. Бурдо // Харчова і переробна промисловість. – 1999. – № 9. – С. 30-31.
15. Ширеторова В. Г. Разработка основ технологического процесса получения кедрового масла свч-экстракцией спиртом этиловым: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Улан-Удэ, 2002. – 19 с.
16. Armstrong S.D. Microwave-Assisted Extraction for the Isolation of Trace Systemic Fungicides from Woody Plant Material: Dissert... PhD. – Virginia, 1999. – 129 p.
17. Haizhou Li Ultrasound and Microwave Assisted Extraction of Soybean Oil: A Thesis Presented for the Master of Science Degree. – Knoxville, 2002. – 67 p.
18. Amer Ali Scrutiny of Microwave Essential Oil Extraction / Ali Amer, Rosli Mohd Yunus, Ramlan Abd. Aziz. – Malaysia Technology University. – 2003. – 7 p.
19. Hupe M. Effects of moisture content in cigar tobacco on nicotine extraction – similarity between Soxhlet and focused open-vessel microwave-assisted techniques / J. Chromatogr. – 2003. – 1011. – № 1-2. – P. 213-219.
20. Schenker S. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions / S. Schenker, S. Handschin, B. Frey, R. Perren, F. Escher / J. Food Sci. – 2000. – 65. – № 3. – P. 452-457.
21. Шевцов А.А. Разработка и научное обоснование способа обжарки кофе перегретым паром / А.А. Шевцов, Л.Н. Остриков, А.Н. Зотов, И.В. Подгузова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 8. – С. 148-150.
22. А.с. 1839313, Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/24. Способ производства растворимого кофе / Ф.Г. Нахмедов. – № 4746175/13; Заявлено 05.10.89; Опубл. 27.05.96, Бюл. № 15.
23. Пат. 2080076 Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/24. Способ экстрагирования жаренного и молотого кофе: / Горбен Бринк Ларсен. – № 93053498/13; Заявл. 21.01.92; Опубл. 27.05.97, Бюл. №15.
24. Пат. 6337098 США, МПК⁷ А 23 F 5/00. Method of improving the aroma and flavor of coffee using noble gases / American Air Liquide, K.C. Spenser, C.E. Boisrobert – № 08/305733; Заявл. 14.09.1994; Опубл. 08.01.2002.
25. Пат. 5637343 США, МКК⁶ А 23 F 5/24. Process for making coffee concentrate / G.B. Ryan – № 504539; Заявл. 20.07.95; Опубл. 10.06.97.
26. Пат. 403000 Австрия, МКИ⁶ А 47 J 31/36, А 23 F 5/26. Verfahren zum Zubereiten eines Kaffeegetränkes durch Rotationsextraktion / Tchibo Frisch-Röst-Kaffee GmbH. – № 120/96; Заявл. 26.01.96; Опубл. 27.10.97.
27. Пат. 2059382 Россия, МКИ⁶ А 23 F 5/10 Промышленное устройство для экстракции ценных веществ из растительного сырья с помощью свч-энергии Касьянов Г.И., Квасенков О.И.; ВНИИ консерв. и овощесуш. пром-ти – № 93031259/13; Заявл. 24.06.93. Опубл. 10.05.96. Бюл. №13.
28. Пат. 6497911 США, МПК⁷ А 23 F 5/00. Process for the preparation of a water soluble coffee or tea product from a non-rewetted particulate material obtained from an extract by drying / Niro A/S, Hansen Ove Emile, Sorensen Per Bo, Ilkjaer Jorgen, Sorensen Jeus Mourits – № 09/567581; Заявл. 05.05.2000; Опубл. 24.12.2002.
29. Bassoli D.G. Instant coffee with natural aroma by spray-drying / D.G. Bassoli, A.P. Sumi, Y. Akashi, H. Vchida, A.S. De Castro, N. Ohtani, T. Obayashi, M. Nakayama, A. Shigekane, Y. Tamura, M. Tomita, M. Takahashi, N. Narui // 15 ème Colloq. Sci. int. Cafè. – Paris, 1993. – P. 712-718.
30. Бурдо О.Г., Пищевые нанотехнологии – Херсон, 2013 – 294с.

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

31. Бурдо О.Г. Наномасштабные эффекты в пищевых технологиях //Инженерно-физический журнал. Минск, т.78, № 1.-2005. - С.88-93.
32. Burdo O.G. Nanoscale effects in food-production technologies // Journal of Engineering Physics and Thermophysics – 2005.- Vol.78, Issue 1.- P.90-96.
33. Бурдо О.Г. Принципы направленного энергетического действия в пищевых нанотехнологиях /Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Бандура В.Н.// Научный информационно-аналитический инженерный журнал «Problemele energetici regionale (Проблемы региональной энергетики)» – Кишинев, 2015г. – №1 (27) – С.79-85
34. Бурдо О.Г., Альхури Юсеф Пути повышения энергетической эффективности процессов переработки плодов шиповника //Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2015. – Вип.47, Т2. – с.118-121.
35. Рабиндер П.А. О формах связи влаги с материалами в процессе сушки.-В кн: Всесоюзное научно-техническое совещание по сушке. М. Профиздат, 1958. – 286 с.
36. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.
37. Кафаров В.В. Основы массопередачи: учеб. пособие для вузов / В.В. Кафаров.- 4-е изд., перераб. и доп.- М. Высш. шк., 1972. – 496 с.
38. Хомич Г.П. Використання дикорослої сировини для забезпечення харчових продуктів БАП [Текст]: монографія/ Г.П. Хомич, Н.І. Ткач, Полтав. Ун-т спожив. Кооп. України. – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2009. – 159 с.
39. Петрова В.П. Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений [Текст]/В.П. Петрова – К.:Вища школа, 1986. – 287 с.
40. Шапиро Д.К. Дикорастущие плоды и ягоды [Текст].-/Д.К. Шапиро, Н.И. Манциводо, В.А. Михайловская – Мн.: Ураджай. – 1988. – 128 с.

УДК 663.933.061- 027.332:537-962

**МИКРОВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
МАССООБМЕННЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ
ПЕРЕРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
MICROWAVE TECHNOLOGIES OF MASS-TRANSFER AND HEAT PROCESSES
INTENSIFICATION FOR VEGETABLE MATERIALS TREATMENT**

¹Левтринская Ю. О., аспирант, ¹Ружицкая Н.В., канд. техн. наук., ассистент,

¹Резниченко Т.А., аспирант, ²Бандура В.Н., канд. техн. наук., профессор

¹Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

²Винницкий национальный аграрный университет, г. Винница

¹Levtrinskaya Yu.O., ¹Ruzhitskaya N.V., ¹Reznichenko T.A., ²Bandura V.N.

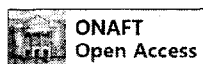
¹Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

²Vinnitsa National Agrarian University

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*В статье рассмотрены микроволновые технологии интенсификации процессов экстрагирования вкусовых и ароматических компонентов из кофейного сырья и концентрирования экстрактов ароматических и биологически-активных веществ. Показано влияние микроволнового подвода энергии на выход целевого компонента из кофейных зерен *Coffea arabica* L. Установлено повышение выхода экстрактивных веществ при микроволновом подводе энергии. Показана динамика выхода целевых веществ из кофейных зерен при микроволновом и традиционном тепловом подводе энергии. Проведены исследования теплового потока в кассетах противоточного микроволнового экстрактора. Получены зависимости для влияния количества подведенной энергии, расхода экстрагента и слоя продукта в экстракторе на выход целевого компонента.*

Для интенсификации процесса вакуум-выпарки предлагается обеспечить равномерность подвода энергии и исключить промежуточный теплоноситель за счет использования микроволновых технологий. Приведены

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

результаты экспериментальных исследований концентрирования экстрактов стевии, кофе, сахара. Показано влияние удельного энергоподвода, давления в аппарате, площади поверхности испарения на скорость процесса концентрирования пищевых растворов на примере сахарного раствора.

Полученные экспериментальные зависимости могут быть использованы для дальнейшей оптимизации микроволнового экстракционного и выпарного оборудования.

In current paper microwave technologies of coffee raw taste and flavor components extraction and flavor and biologically active substances extracts concentration intensification are considered. The influence of microwave energy supply on target component yield from *Coffea arabica* L. seeds is shown. The increase of extractive substances yield under microwave energy supply is ascertained. The dynamics of target components yield from coffee seeds under microwave energy supply is shown. Researches of heat flow in counterflow microwave extractor cartridges are done. The relations for influence of energy supply, extractant flow rate, product layer thickness in extractor on target component yield. For vacuum evaporation process intensification it is offered to provide energy supply evenness and exclude intermediate heat medium by microwave technologies. The results of experimental researches of coffee, stevia extracts and sugar solutions concentration are given. The influence of specific energy supply, pressure in apparatus, evaporation surface area on process rate is shown by example of sugar solutions.

Received experimental relations can be used for further optimization of microwave extraction and vaporizing equipment.

Ключевые слова: кофе, микроволновый интенсификатор, экстрагирование, вакуум-выпарные аппараты, стевия.

Keywords: coffee, microwave intensifier, extraction, vacuum vaporizers, stevia.

Концентрированные и сухие экстракты вкусовых, ароматических и биологически активных веществ из дорогостоящего растительного сырья, обладают длительными сроками хранения, удобны для транспортировки и использования как в пищевых и фармацевтических производствах, так и в быту. Основные этапы технологии получения таких концентратов это экстрагирование и удаление экстрагента (выпарка, сушка). Оба процесса характеризуются высокой энергоемкостью. Процесс экстрагирования интенсифицируется, как правило, за счет повышения температуры и давления в аппарате, что негативно сказывается на качестве продукта. В процессе концентрирования экстрактов выпариванием их теплопроводность с увеличением содержания сухих веществ понижается. За счет этого в большинстве существующих выпарных аппаратов не обеспечивается равномерный подвод энергии к продукту, что ведет к его «пригоранию», т.е. термическому повреждению, а также снижает энергетическую эффективность процесса.

В то же время низкие температуры обработки не позволяют инактивировать всю патогенную микрофлору в продукте, что снижает сроки его хранения и вынуждает использовать консерванты. Ряд работ подтверждает эффективность низкотемпературной пастеризации и стерилизации пищевых продуктов в микроволновом поле [1]. Кроме того микроволновое поле, воздействуя на полярные молекулы сырья (вода, этанол и т.п.) инициируют особый бародиффузионный поток экстрактивных веществ из микро- и наноструктур сырья в экстрагент. За счет явления бародиффузии разрушаются клеточные стенки сырья, а также турбулизуется пограничный слой [2].

Предлагается использовать микроволновые технологии для интенсификации процесса экстрагирования водорастворимых вкусовых и ароматических веществ кофе.

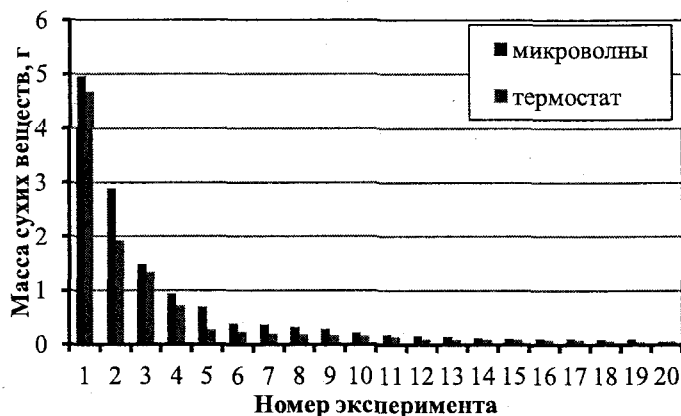


Рис. 1— Динамика исчерпания сухих веществ из кофейных зерен

Для формирования адекватной оценки эффективности осуществления процесса экстрагирования необходимо иметь точное представление о содержании в исходном сырье растворимых компонентов, которые возможно извлечь. С целью определения содержания сухих веществ (с.в.) в сырье были проведены эксперименты с использованием обжаренного молотого кофе сорта арабика (*Coffea arabica* L.) в соответствии с методикой, изложенной в литературе [3]. Экстрагирование водой осуществлялось двумя способами: в термостате и в микроволновой камере (номинальная мощность магнетрона 1043 Вт) с использованием навески продукта массой 50 г и гидромодулем 1:4. Для экстрагирования в микроволновом поле использовался режим, при котором микроволны воздействовали на продукт 8 с в ми-

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

нуту. Произведено 20 заливо́в водо́й мо́лотых ко́фейных зе́рен с ди́аметром ча́стиц $\delta=1\ldots 2$ мм. Ко́лба с про́дук-
том на́гревалась в те́чении 5 ми́нут до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ка́ждой то́чки экс́перимента. В ми́крово́лновом (МВ) по́ле из
зе́рен бы́ло извле́чено 27,76 % су́хих ве́ществ (13,8 г), в те́рмостате – 21,65 % (10,82 г). На рис. 1. По́казана ди́-
на́мика исчерпа́ния су́хих ве́ществ из зе́рен.

Каче́ственно оце́нить э́ффекти́вность ме́тоди́ки экс́траги́рования, по́зволяет иссле́дование уде́льных за́трат
на про́изводст́во про́дукта. С це́лью по́луче́ния экс́периме́нтальных да́нных бы́ли про́веде́ны иссле́дования те́п-
ло́вого по́тока в ка́ссетах прот́ивото́чного ми́крово́лнового экс́тракто́ра. Для про́веде́ния экс́перимента ка́мера
экс́тракто́ра бы́ла за́полнена ка́ссетами (6 шу́ток), че́рез ко́торые про́ходил экс́траге́нт. Уста́новка сна́бжена ма́г-
не́троном с но́минальнóй мо́щностью 900 Вт и преду́смотрено 5 ре́жимов ра́боты: 10 %, 30 %, 50 %, 70 % и
100 % от но́минальнóй мо́щности ма́гнетрона. Опы́ты про́водили́сь с изме́нением расхо́да экс́траге́нта в диа́па-
зоне $1,8 \ldots 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Для ка́ждой то́чки экс́перимента опы́т про́водился в те́чении 3 ми́нут. Те́мпература из-
ме́рялась на вы́ходе из шесто́й ка́ссеты.

Таблица 1 – Результаты калориметрирования блока из 6-ти кассет при разном расходе и мощности

$G_i(\text{м}^3/\text{с} \cdot 10^6) P_i$	10 %	30 %	50 %	70 %	100 %
1,8	$\Delta T=4,7$ $Q=29,6 \text{ Вт}$	$\Delta T=8,1$ $Q=61,5 \text{ Вт}$	$\Delta T=20,5$ $Q=155,6 \text{ Вт}$	$\Delta T=25$ $Q=189,7 \text{ Вт}$	$\Delta T=34,5$ $Q=261,8 \text{ Вт}$
3,7	$\Delta T=3,9$ $Q=37,3 \text{ Вт}$	$\Delta T=7,5$ $Q=98,9 \text{ Вт}$	$\Delta T=13,2$ $Q=202,2 \text{ Вт}$	$\Delta T=18,8$ $Q=336,2 \text{ Вт}$	$\Delta T=30$ $Q=512,1 \text{ Вт}$
5,6	$\Delta T=1,7$ $Q=72,5 \text{ Вт}$	$\Delta T=4,5$ $Q=117,3 \text{ Вт}$	$\Delta T=9,2$ $Q=203,7 \text{ Вт}$	$\Delta T=15,3$ $Q=290,1 \text{ Вт}$	$\Delta T=34,5$ $Q=462,9 \text{ Вт}$
15	$\Delta T=1,1$ $Q=68,9 \text{ Вт}$	$\Delta T=3,3$ $Q=206,8 \text{ Вт}$	$\Delta T=4,3$ $Q=269,5 \text{ Вт}$	$\Delta T=8,8$ $Q=551,4 \text{ Вт}$	$\Delta T=17,9$ $Q=821,6 \text{ Вт}$

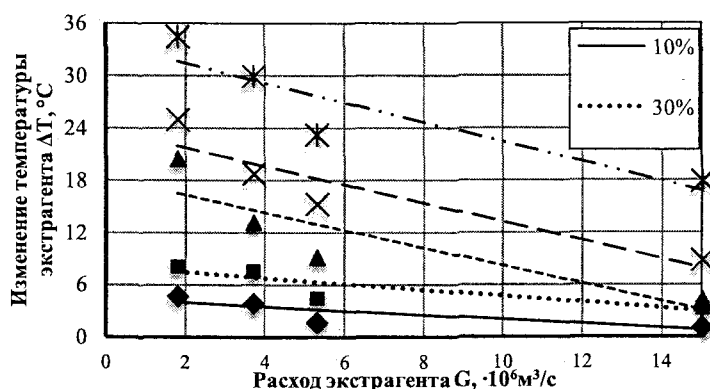


Рис. 2 – Температури на виході з блоку касет при разном расходе экстрагента

С увеличением расхода экстрагента снижается температура на выходе из блока касет микроволнового экстрактора, экстрагент не успевает значительно нагреться. Для интенсификации экстрагирования из растительного сырья необходимо повышение температуры, так как с ее повышением улучшается растворимость веществ, которые находятся в сырье, меняются вязкость экстрагента, что позволяет ему более эффективно проникать в капилляры сырья. Однако, перегрев экстракта приводит к деградации биологически-активных компонентов, ухудшению органолептических качеств готового продукта [3, 4].

Для того, чтобы исследовать распределение температур в блоке касет МВ экстрактора были сняты показания температур в каждой касете блока К6. Самые высокие значения температур достигались в нижней касете блока. Верхние касеты блока, в том числе касета К3, которая находится напротив магнетрона, нагревается слабее за счет постоянного притока холодного экстрагента (рис. 2 – 4).

Таблица 2 – Распределение температур в кассетах в одной камере МВ экстрактора при максимальной мощности магнетрона

$\Delta T G(\text{м}^3/\text{с} \cdot 10^6)$	15	6	4	3	1,75	1,2
K1	4,1	5,6	8,6	7,3	10	28,4
K2	5,7	6,2	10,7	9,5	16,1	30,3
K3	6,2	10	16,3	18,3	21,4	35,4
K4	9,3	15,3	18,6	20,9	28,1	45,4
K5	14,1	19,5	24,2	25,5	36	46,4
K6	15,5	22,7	25,9	29,3	39,2	49,4

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

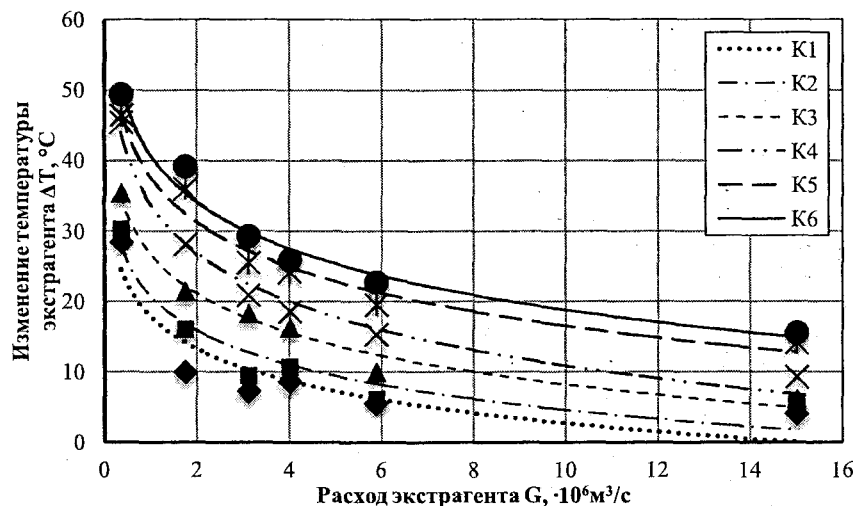


Рис. 3 – Термограмма распределения температур в кассетах МВ экстрактора при разном расходе

Также был проведен эксперимент по определению температуры в кассете с продуктом при разных режимах работы МВ экстрактора. Для эксперимента использовался молотый кофе ($m=50 \text{ г}$, $\delta=1...2 \text{ мм}$) при расходе $G=1,2 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$ и начальной температуре экстрагента 20°C . На термограммах процесса видно, что при неизменном расходе температура выходит на некоторый установившийся уровень. Следует отметить, что для режимов работы магнетрона 70 % и 100 % характерным при данном расходе был перегрев кассеты и закипание в ней экстрагента.

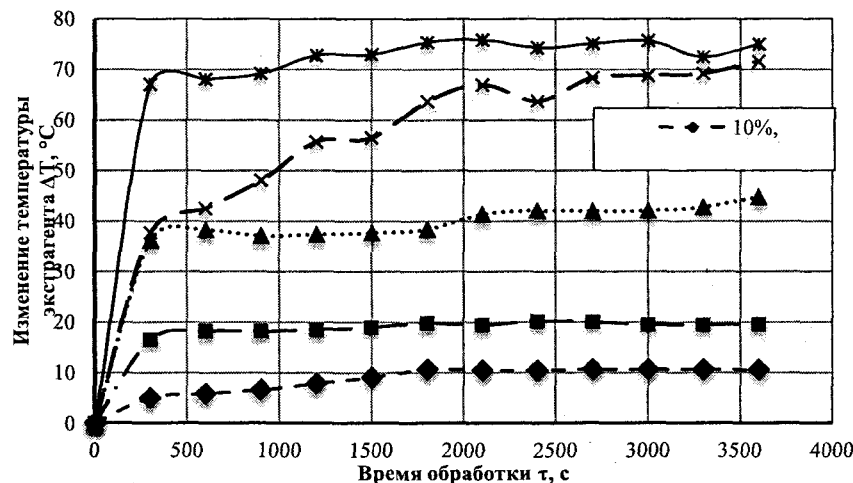


Рис. 4 – Изменение температур в кассете с продуктом при разных режимах работы микроволновой камеры

Для получения кофейного экстракта богатого ароматическими и биологически активными веществами нежелательно повышение температуры выше 100°C . Согласно литературным данным, при обработке натурального молотого кофе желательно, чтобы вода имела температуру $50...80^\circ\text{C}$ [4-6]. При перегреве кофейный напиток приобретает неприятный резкий вкус, а легколетучие ароматические компоненты покидают экстракт [4].

Исследование влияние мощности и расхода на температурный режим в кассетах с продуктом свидетельствует, что для того, чтобы он соответствовал технологическим требованиям и позволял получать качественный продукт необходимо учитывать, что при уменьшении расхода продукт сильнее нагревается и необходимо избегать повышения мощности при уменьшении расхода. С целью определения полноты извлечения сухих веществ из кофе ($m=50 \text{ г}$, $\delta=1...2 \text{ мм}$) при разном расходе были проведены эксперименты при режиме работы микроволновой камеры 30 %. Результаты экспериментов показаны на рис. 5. При малом расходе экстрагента обеспечивается более полное извлечение сухих веществ из сырья, а сам экстракт более насыщен, что упрощает его последующую переработку.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

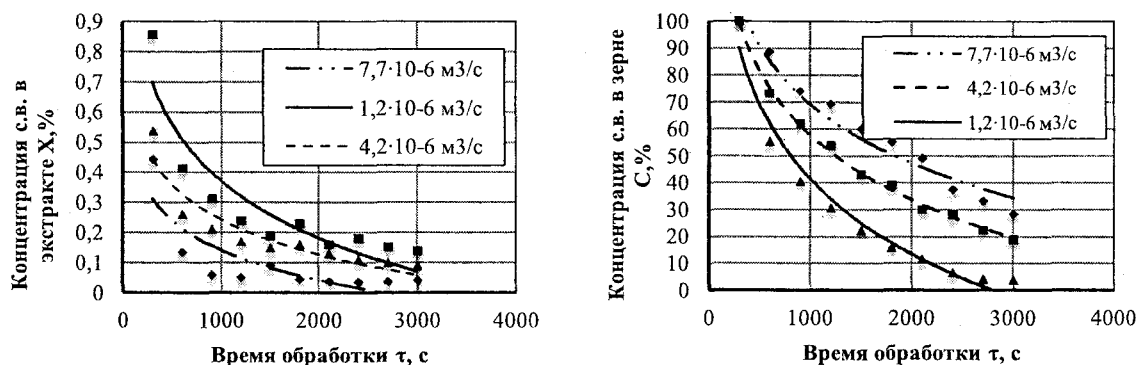


Рис. 5 – Извлечение сухих веществ из молотого кофе при разном расходе экстрагента

Важно учитывать, что при экстрагировании из растительного сырья большое значение имеет соотношение сырье:экстрагент. Для оценки влияния такого соотношения проводились экспериментальные исследования процесса экстрагирования из кофе при различном гидромодуле. Эксперименты проводились в неподвижном слое с использованием молотого кофе ($\delta=1 \dots 2 \text{ мм}$) на лабораторном стенде который состоял из микроволновой камеры с блоком регулирования мощности МВ-поля и радиопрозрачной емкости с обратным холодильником, благодаря которому сохранялся постоянный объем экстрагента и составлял 200 мл. Количество молотого кофе составляло 2, 10 и 50 г для гидромодулей 1:100, 1:20 и 1:4 соответственно. Анализ полученных эксперимен-

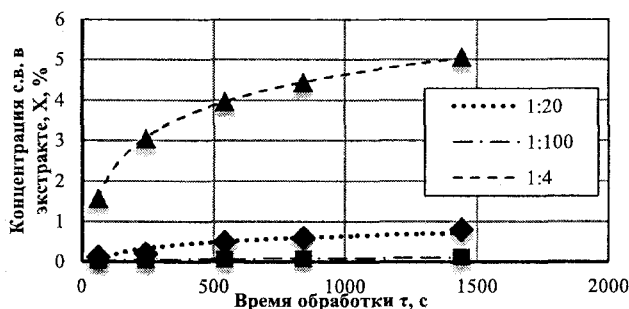


Рис. 6 – Экстрагирование из молотого кофе с разным гидромодулем

тальных данных показывает, что полнота извлечения составила 20 %, 15 % и 12 % сухих веществ, что свидетельствует о том, что при использовании большего гидромодуля обеспечивается более полное извлечение компонентов из сырья. Однако, возникает проблема разделения извлеченных компонентов и растворителя, так как полученный экстракт имеет небольшую концентрацию сухих веществ потребуются дополнительные энергетические затраты на сушку или сгущение экстракта (рис.6).

Так как процесс экстрагирования в микроволновом экстракторе предполагает противо-

точное движение продукта и экстрагента с целью исследования процессов в кассете с продуктом была проведена серия экспериментов с разной толщиной слоя продукта в кассете при движении экстрагента через слой продукта, так как при такой организации процесса сложно определить значение гидромодуля.

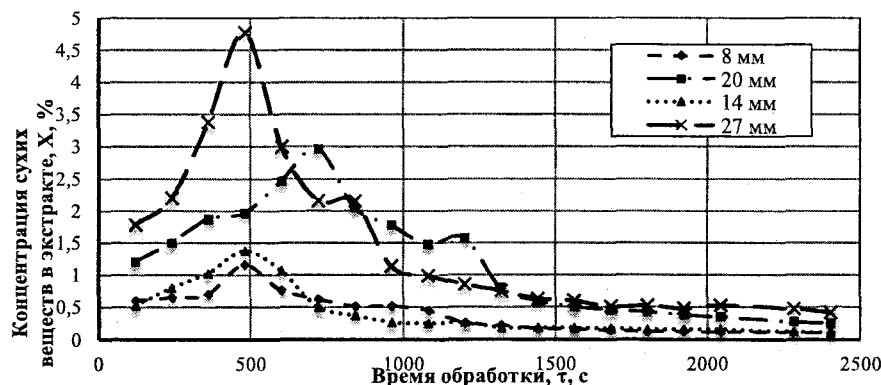


Рис. 7 – Влияние толщины слоя продукта на концентрацию сухих веществ в растворе

Наличие на графике (рис. 7) своеобразных пиков можно объяснить тем, что при тонком слое продукта в кассете увеличена площадь контакта фаз и растворитель легко попадает к продукту. В случае, когда слой про-

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

дукта увеличивается – растворителю сложнее найти путь к продукту, когда растворитель попадает к новой порции продукта, то концентрация экстрактивных веществ в растворе увеличивается.

Дальнейшим этапом переработки растительных экстрактов, в т.ч. и кофейного является концентрирование. При концентрировании выпариванием проблему равномерности подвода энергии также можно решить с использованием микроволновых технологий.

При микроволновом подводе энергии подводится непосредственно к молекулам воды в продукте, так как сухие вещества как правило радиопрозрачны. Очаги парообразования возникают во всем объеме и выпол-

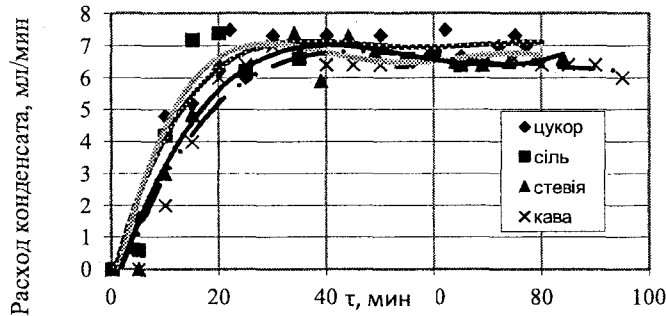


Рис. 8 – Зависимость расхода конденсата от характера раствора

няют функцию греющей поверхности. Таким образом площадь поверхности теплообмена должна возрастать на порядки. Реализуется схема подвода энергии, показавшая высокую эффективность в технологиях сушки [7, 8].

Технологии микроволновой вакуум-выпарки были применены для концентрирования экстрактов стевии *Stevia Rebaudiana* – природного сахарозаменителя, кофейного экстракта, растворов сахара и NaCl (рис. 8). Эк-

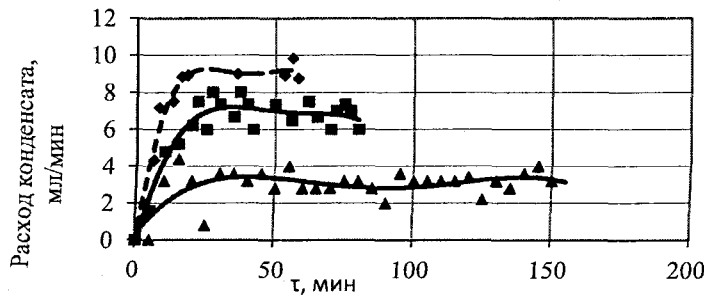


Рис. 9 – Влияние удельного энергоподвода на расход конденсата:
1 – 570 Вт/кг; 2 – 495 Вт/кг; 3 – 296 Вт/кг

сперименты проводились при давлении 0,009...0,011 МПа, температура процесса не превышала 50 °С.

Как видно из графиков, разница расходов для рассмотренных растворов незначительна. Таким образом модельным раствором для изучения влияния на кинетику концентрирования таких факторов как давление в аппарате, удельный энергоподвод, площадь поверхности испарения в аппарате был выбран сахарный раствора начальной концентрации 5 %.

Увеличение количества подво-

димой к продукту энергии увеличивает скорость процесса, поскольку возрастает количество очагов парообразования (Рис. 9). Эксперименты проводились при давлении 0,009...0,011 МПа.

Однако при анализе термограмм процесса (рис. 10) установлено, что при мощности 570 Вт/кг температура продукта постоянно растет.

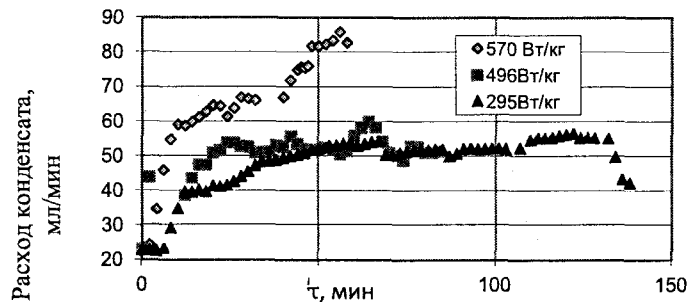


Рис. 10 – Термограммы процесса концентрирования в зависимости от удельного энергоподвода

Это указывает на то, что не вся подводимая энергия расходуется на испарение воды, соответственно такой режим энергетически неэффективен.

Отмечено, что во всех опытах расход конденсата в течение 10...20 минут достигал постоянных значений, т.е. установка выходит на стационарный режим. Таким образом наглядно оценить влияние параметров процесса на интенсивность концентрирования можно введя понятие среднего расхода конденсата (рис. 11)

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

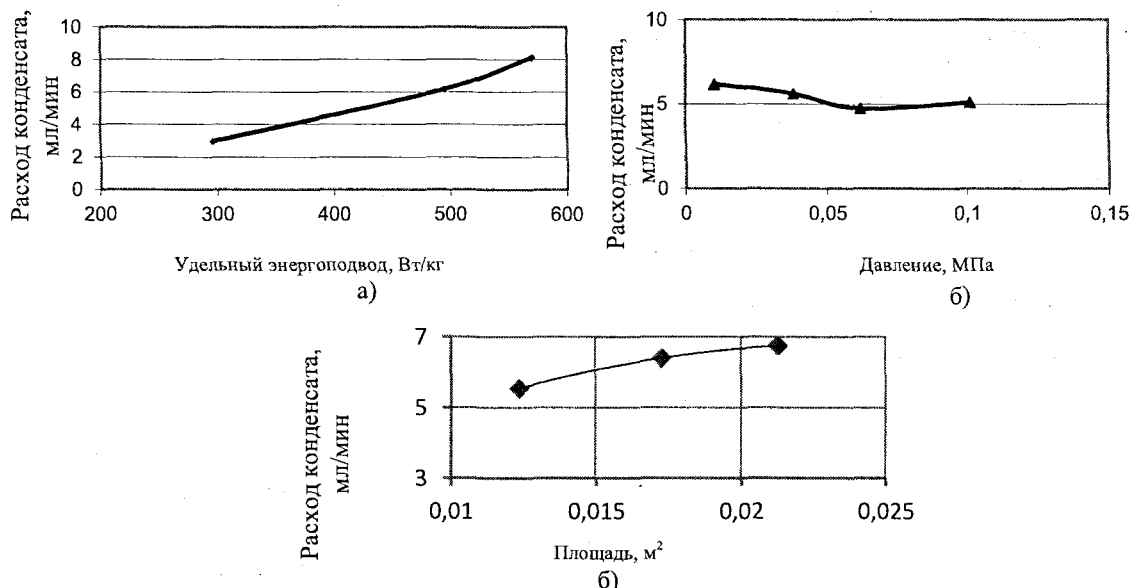


Рис. 11 – Влияние параметров процесса на расход конденсата: а) удельный энергоподвод; б) давление; в) площадь поверхности испарения

Изучение влияния давления в аппарате и площади поверхности испарения проводилось при удельном энергоподводе 495 Вт/кг. Установлено, что увеличение поверхности испарения при постоянном объеме продукта ведет к увеличению расхода конденсата.

Выводы. Применение микроволновых технологий позволяет добиться повышения выхода целевых компонентов и существенно интенсифицировать процесс экстрагирования. На интенсивность процесса влияет не только количество подведенной энергии, но и толщина слоя продукта в экстракторе, расход экстрагента. Полученные экспериментальные зависимости могут быть использованы для дальнейшей оптимизации.

В технологиях концентрирования экстрактов микроволновый подвод энергии позволяет добиться равномерности подвода энергии к продукту в выпарном аппарате и исключить промежуточный теплоноситель. При этом энергия подводится непосредственно к воде (полярному экстрагенту) в продукте.

За счет того, что по всему объему выпариваемого продукта возникают очаги парообразования, на порядки возрастает поверхность теплообмена в аппарате. Температура выпариваемого продукта зависит не только от давления в аппарате, но и от количества подведенной микроволновой энергии и может значительно превышать температуру кипения. В то же время, интенсивное испарение воды из раствора в условиях микроволнового подвода энергии происходит при общей температуре раствора ниже температуры кипения растворителя. На интенсивность испарения помимо энергоподвода и давления также оказывает влияние площадь поверхности испарения.

Литература

- Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. Процессы инактивации микроорганизмов в микроволновом поле [Текст]. – О.: Полиграф, 2010. – 200 с.
- Бурдо, О.Г. Экстрагирование в системе «кофе-вода» [Текст]: моногр. / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко. – О.: ТЕС, 2007. – 176 с.
- Бурдо О.Г. Процессы переработки кофейного шлама // О.Г. Бурдо, С.Г. Терзиев, Н.В. Ружицкая, Т.Л. Макиевская. – Киев: Энтерпринт, 2014. – 228 с.
- F. Mestdagh The kinetics of coffee aroma extraction // Frédéric Mestdagh, Tomas Davidek, Matthieu Chaumonteuil, Britta Folmer, Imre Blank / Food Research International 63 (2014) 271–27
- Rohit Upadhyay Microwave-assisted extraction of chlorogenic acids from green coffee beans // Rohit Upadhyay, K. Ramalakshmi, L. Jagan Mohan Rao / Food Chemistry 130 (2012) 184–188
- Zuorro A., Lavecchia R. Polyphenols and energy recovery from spent coffee grounds // Chem. Eng. Trans. – 2011. – Т. 25. – С. 285–290.
- Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. – Одесса: «Полиграф», 2010. – 368 с.
- Бурдо О.Г. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В. // Труды IV Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов СЭТТ-2011)». – Т.1, Москва, 2011. – С. 422 – 426.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 664.048.5.022.63

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В ХАРЧОВИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ
APPLICATION OF THERMOMECHANICAL SYSTEMS IN FOOD TECHNOLOGIES

Безбах І. В., Воскресенська О. В.

Одеська національна академія харчових технологій, г. Одеса

Bezbach I.V., Voskresenskaya Ye. V.

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. Розглянуті недоліки устаткування для термомеханічної обробки харчових продуктів. Пропонуються шляхи рішення енергетичних проблем в технологіях термообробки харчових рідин, сушіння дисперсних продуктів. Представлені конструкції сушарок і апаратів для термообробки на базі термосифонів, що обертаються. Приведені результати експериментальних досліджень процесів сушіння, термообробки харчових продуктів в апаратах з термосифонами, що обертаються. Пропонуються моделі в числах подібності, для розрахунку процесів тепло- масопереносу при термообробці і сушінні харчових продуктів в перерахованих апаратах. Запропоновані критеріальні рівняння для проектування і оптимізації подібного класу машин. Запропоновані конструкції апаратів здатні забезпечити ефективний тепlopеренос при обробці в'язких і дисперсних харчових продуктів при зменшенні енергетичних втрат до 30%.

Abstract. Consider defects the equipment for thermomechanical treatment of food products. The ways of solving of energy problems in technology heat treatment of food liquids, drying of dispersed products. Designs of dryers and apparatus for heat treatment on the basis of rotating thermosiphons. The results of experimental studies of the drying process, the heat treatment of foods in the machines with rotating thermosyphon. The models for the calculation of heat and mass transfer processes in heat treatment and drying of food products in these devices. Suggested criterial equations for the design and optimization of this class of machines. The proposed design of devices capable of providing effective heat transfer and in the processing of viscous foodstuffs dispersed while reducing the energy loss of up to 30%.

Ключові слова: термомеханічна обробка, енергія, харчові технології, моделювання.

Keywords: thermomechanical processing, energy, food technology, modeling.

Вступ. Устаткування, яке використовується в харчовій промисловості для механічної і термомеханічної обробки харчової сировини є одним з найбільш енерговитратних. Розглянуті достоїнства і недоліки термомеханічного устаткування для обробки дисперсних продуктів і неньютонівських рідин.

Основними проблемами, що виникають при тепловій обробці харчових неньютонівських рідин (ННР), є зміна якості продукту залежно від тривалості теплової дії; процес інтенсивного утворення накипу. Для вирішення проблем термообробки харчових ННР застосовують термомеханічні агрегати (ТМА). Слабким елементом ТМА є вузол ущільнення підведення пари і відведення конденсату. Герметизація вузла з'єднання ротора, що обертається, з нерухомим паропроводом і конденсатопроводом є технічно складним завданням.

Аналіз стану зерносушильної техніки на харчових підприємствах України показує, що в 48 % випадків експлуатуються шахтні агрегати вітчизняного виробництва. Шахтні конвективні зерносушарки мають ряд недоліків: невисокий ККД використання об'єму апарату; мале питоме знімання вологи; нерівномірність прогріву зернової маси; високі енерговитрати (5 МДж/кг і вище). Тому при модернізації підприємств деякі аграрії (до 15 %) збираються приділити увагу ділянкам сушіння, як одним з найбільш витратних у складі зерносушиць [1]. Набагато рідше (до 5%) на виробництвах використовуються сушарки, теплота в яких передається зерну від нагрітої поверхні. В якості нагрітої поверхні можуть використовуватися труби, що обігріваються зсередини парою або гарячою водою. Парові сушарки забезпечують високі коефіцієнти теплопередачі до зернового потоку 30...90 Вт/м² К. Недоліки конструкцій парових сушарок: складна апаратурно-технічна реалізація, потрібні додаткові

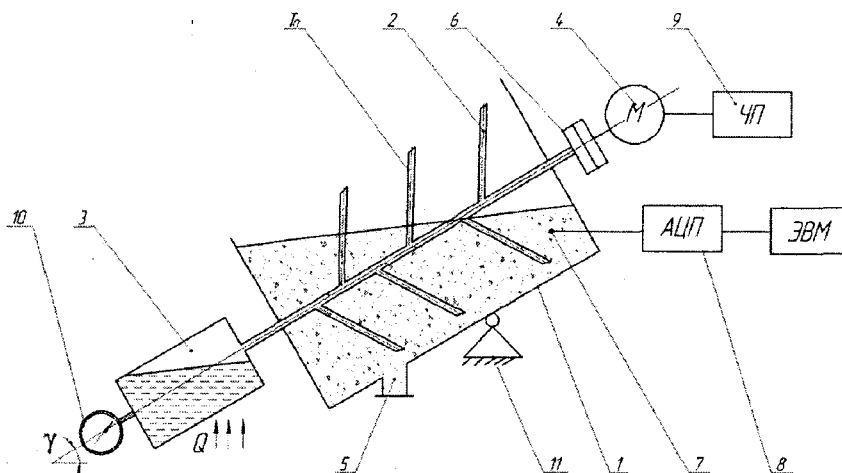
ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

пристрої для подання пари, відведення конденсату, утворення водяних пробок в трубках, низька міра перемішування зернового потоку.

Застосування ТМА на базі ротаційних термосифонів (РТС) в харчовій промисловості дозволяє реалізувати наступні шляхи зниження енерговитрат: скорочення ланцюжка трансформації енергії; поєднання в апараті декількох технологічних процесів; інтенсифікація тепломасообміну; ефективна доставка енергії до продукту; утилізація теплоти. Дія на в'язкий (дисперсний) продукт за допомогою РТС сприяє ефективному руйнуванню гідродинамічного і теплового пограничних шарів, що призводить до збільшення інтенсивності процесів перенесення. Можливо виділити декілька основних напрямів застосування апаратів на базі РТС. Це теплообмінники, випарні установки, сушарки для дисперсних продуктів.

Методи дослідження. Проведено експерименти по сушінню дисперсних продуктів, термообробці ННР в апараті з РТС. Апарат (рис. 1) складається з корпусу 1, усередині якого розміщений ротор 2, виконаний у вигляді термосифону, що обертається. Ротор 2 сполучений з випарником 3 і через муфту 6 з електродвигуном 4. Ротор 2 і випарник 3 є герметично закритою порожниною, частково заповненою теплоносієм. У нижній частині корпусу 1 виконаний патрубок 5 для розвантаження продукту і шарнір 11 для регулювання кута нахилу корпусу 1 [2,3].

Апарат працює таким чином. При підводі теплоти (Q) до випарника 3 теплоносіє починає кипіти, пара, що утворюється, спрямовується в ротор 2, де конденсується на стінках, віддаючи теплоту фазового переходу продукту. Конденсат під дією гравітаційних сил рухається у випарник 3. Відбувається нагрівання, перемішування, або сушіння продукту, після чого продукт вивантажується через нижній патрубок в корпусі.



1 – корпус, 2 – ротор, виконаний у вигляді термосифону, що обертається. 3 – випарник, 4 – електродвигун, 5 – патрубок, 6 – муфта, 7 – термопари, 8 – аналого-цифровий перетворювач, 9 – частотний перетворювач, 10 – манометр, 11 – шарнір

Рис. 1 – Конструкція апарату з РТС

В процесі експерименту змінювали кут нахилу РТС (γ), частоту обертання РТС (n). Вимірювання температури здійснювали через певні проміжки часу за допомогою термопар 7, поміщених в об'єм продукту. Термопари були під'єднані до аналого-цифрового комплексу 8. Частота обертів РТС вимірювалася за допомогою тахометра і регулювалася частотним перетворювачем 9. Під час експериментів тиск P у випарнику і конденсаторі РТС підтримувався постійним, таким чином поверхня конденсатора залишалася ізотермічною. Тиск пари теплоносія у РТС вимірювали за допомогою манометра 10.

В якості об'єктів досліджень були вибрані крупнозерністі дисперсні продукти: пшениця, варений горох; дрібнозерністі: просо, амарант; ньютонівські рідини: томатна маса, яблучне пюре.

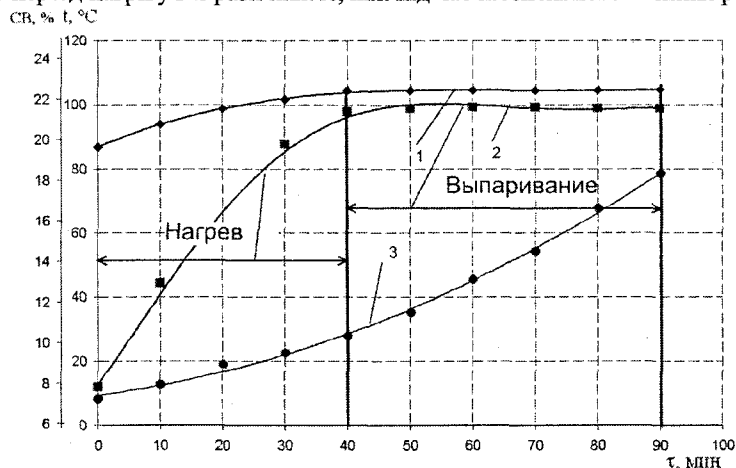
Зерно пшениці зволожували до стану сирого [4]. Початкова вологість зерна пшениці в досліді відповідає 22,5 %.

Початкова вологість дисперсних продуктів підтримувалася на рівні технологічних вимог. Кінцева вологість продуктів зазвичай вибиралася з таблиць як рівноважна для цих атмосферних умов. Температура поверхні конденсатора РТС підтримувалася такою, щоб не відбувалося перегрівання продукту вище за технологічні вимоги.

Результати досліджень. Проведені експерименти по випарюванню яблучного пюре в апараті з РТС. Концентрація при випарюванні яблучного пюре при частоті обертів РТС $n = 14$ об/хв, і куті нахилу $\gamma = 30^\circ$ збільшу-

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ється, наближаючись до теоретичної межі (рис. 2). Концентрація яблучного пюре збільшена з 7,3 до 18,4 % сухих речовин. Період нагріву розчину (рис. 2) до температури кипіння близько 40 хв. Розчин кипить при атмосферному тиску. Спостерігається випарювання води в період нагріву розчину до температури кипіння. Швидкість видалення води в період нагріву в 2 рази нижче, ніж під час інтенсивного кипіння розчину.



1 – температура поверхні РТС; 2 – температура продукту; 3 – концентрація сухих речовин
Рис. 2 – Зміна концентрації сухих речовин і термограми при випарюванні яблучного пюре,
 $n = 14 \text{ об/хв}$, $\gamma = 30^\circ$

Проведені експерименти по сушінню пшениці в апараті з РТС. В процесі нагріву зерна відбувається інтенсивне пароутворення на поверхні продукту, тому періоду прогрівання матеріалу на кривій сушіння не спостерігається.

У першому періоді швидкість сушіння змінюється в межах 0,0072...0,0056 %/с, залежно від температури матеріалу. Тривалість першого періоду складає близько 1000 с. Далі швидкість сушіння падає приблизно в три рази і складає 0,0024...0,0017 %/с.

Сушіння протікає в обмежених умовах – в щільному зерновому шарі. Тому постійно є присутньою поверхнева волога, що характерно для періоду постійної швидкості сушіння.

Вплив на швидкість сушіння робить зміна температури поверхні конденсатора РТС. Вологість зерна в серії дослідів знижується в середньому на 10 %, що відповідає стандартним зерносушаркам.

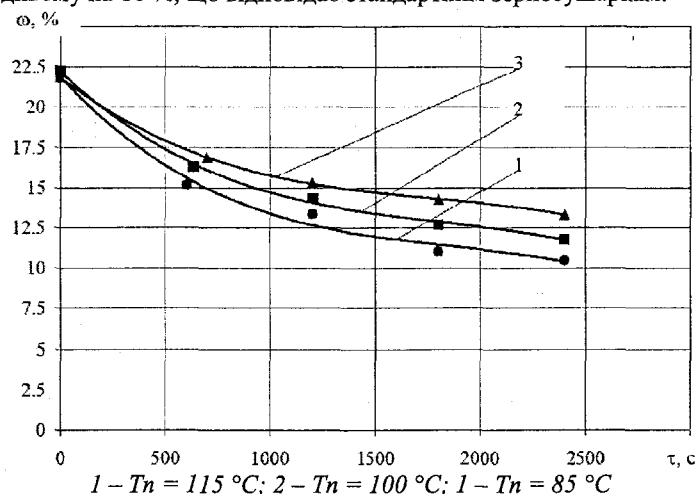


Рис. 3 – Криві сушіння зерна пшениці при різних температурах поверхні конденсатора T_n

Узагальнення результатів. Вид критеріальних рівнянь для узагальнення експериментальних даних отримано при використанні методу аналізу розмірності [5]. При узагальненні результатів по сушінню дисперсних продуктів в апараті з РТС отримано рівняння виду:

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

$$Nu_m = 8.1 \cdot 10^{-9} \cdot Pe^{0.5} \cdot \left(\frac{T_n}{T_z}\right)^{0.4} \quad (1),$$

де:

Nu_m – число Нусельта дифузійне;

Pe – число Пекле теплове;

$\left(\frac{T_n}{T_z}\right)$ – симплекс температур.

База експериментальних даних по кінетиці сушіння пшениці в сушарці з РТС задовільно узагальнюється критеріальним рівнянням. З погрішністю не більше 15 % рівняння (1) дозволяє розрахувати коефіцієнт масовіддачі β в межах $1,2 \cdot 10^3 \leq Pe \leq 1,3 \cdot 10^4$, і параметричного комплексу $2,1 \leq \left(\frac{T_n}{T_z}\right) \leq 4$.

Висновки. Встановлено, що на інтенсивність теплопереносу при обробці ННР в апараті з РТС істотно впливає частота обертання конденсатора, кут його нахилу і фізичні властивості продукту. З підвищенням в'язкості продукту ефективність апаратів з РТС (в порівнянні з традиційними) зростає. Встановлено, що апарат з РТС забезпечує коефіцієнти теплопередачі, при обробці харчових рідин з в'язкістю від 0,8 до 1,5 Па·с; в діапазоні 500...2600 Вт/м²·К.

Встановлено, що при випарюванні яблучного пюре в апараті з РТС, збільшення частоти обертання конденсатора в 7 разів призводить до підвищення вмісту сухих речовин до 33 %, а коефіцієнта тепловіддачі в 4,4 разу. При обробці томатної маси підвищення частоти обертання конденсатора в 7 разів призводить до підвищення вмісту сухих речовин в 1,7 разів. Збільшення кута нахилу РТС з 30° до 45° призводить до підвищення вмісту сухих речовин в продукті до 36 %, а коефіцієнта тепловіддачі в 1,3 разу.

Істотний вплив на коефіцієнт масовіддачі при сушінні дисперсних продуктів має частота обертання і температура поверхні РТС. Зростання швидкості обертання РТС в 2 рази призводить до підвищення коефіцієнта масовіддачі на 40%, підвищення температури поверхні термосифону на 10 °С призводить до зростання коефіцієнта масовіддачі β на 8 %.

Запропоновані конструкції апаратів з РТС здатні забезпечити ефективний теплоперенос при обробці в'язких і дисперсних харчових продуктів при зменшенні енергетичних втрат до 30 %.

Література

1. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины, Журнал «Хранение и переработка зерна» : <http://hipzmag.com>
2. Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок [Текст] / О.Г. Бурдо, // Монография / - О., Полиграф, 2010. – 368 с.
3. Бурдо, О. Г. Кінетика сушіння пшениці в апаратах на базі термосифонів [Текст] / О. Г. Бурдо, І. В. Безбах, В. І. Донкоглов // Наук. пр. /ОНАХТ. – О., 2009. - Вип. 36, т. 1. - С. 297-302.
4. Гинзбург, А. С. Влага в зерне [Текст] / А.С. Гинзбург, В. П. Дубровский, Е. Д. Казаков– М.: Колос, 1969. - 217 с.
5. Исаченко В. П. , Осипова В. А. , Сукомел А. С. Теплопередача М.: Энергия, 1975. – 488 с.

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК. 621.577

THE DETERMINATION OF ENERGY SOURCE OPTIMAL
PARAMETERS FOR VACUUM EVAPORATION
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛА
ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ВАКУУМ-ВИПАРЮВАННЯ

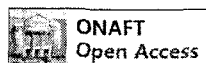
Smirnov H.F., prof. Dr., Zikov A.V., Ph.D, Reznichenko D.N., postgraduate student
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

Смірнов Г.Ф., д-р техн. наук, проф., Зиков О.В., канд. техн. наук, Резніченко Д.М., аспірант
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



There were suggested in the paper the right principle form of the Vacuum Evaporator (VE) optimal parameters determination. The problem studied on the example of the corresponding device for the food juices concentration by the vacuum conditions. It is especially important for the right comparison the VE traditional energy source using (steam from the special boiler or from the turbine) design and the VE with heat pump as energy source using too. There were working out the special method for different variants of VE optimization and using it for the grounded comparison. The VE for tomato juice concentration was used as the optimization object media. There was fulfilled a whole optimization calculations volume. The optimal steam temperature (it saturation pressure), including the summary expenditures value in the optimal temperature) was discovered from these results. It was presented in the paper the author approach and results obtained on it. Besides it, there were obtained the dependency of minimum expenditures on the inlet and outlet concentrations ratio. It was noted, the pointed value significantly decreased with the pointed ratio decreasing. It was concluded, that there are some conditions, when VE with Heat Pump can be considerable better. Besides it, the authors noted, that the Heat Pump using as the energy source for VE will be especially effective in the cases with limited temperature drop between heating and cooling temperatures.

У статті пропонується загальний принцип підходу до проблеми обґрунтованого вибору оптимальних параметрів для Вакуумної Випарної Установки (ВВУ). Завдання розглядається для конкретного випадку підвищення концентрації харчового розчину (томатного соку) у вакуумі для традиційного джерела енергії (тепло) від водяної пари, що подається або з котельної або з відбору парової турбіни. Авторами пропонується вважати, що підхід до обліку вкладу в загальну суму витрат енергії не повинен залежати від джерела виробництва пари, що гріє (котельня або відбір з парової турбіни). Таким чином, реалізується відповідна схема і алгоритм розрахунку і вибору оптимальних параметрів парогенератора. Такі дії, за уявленням авторів, потрібні для обґрунтування вибору джерела тепла. Відомо, що порівняно з традиційним джерелом (водяна пара, що гріє) можливі і інші варіанти, зокрема використання теплових насосів. Нині, така альтернатива по вибору джерела тепла в апаратах харчової технології відома і розглядається як один з перспективних напрямів вирішення проблем енергозбереження. Кожен з вказаних напрямів має свої переваги і недоліки. На думку авторів, істотною перевагою в порівнянні з іншими мають схеми ВВУ з ТНУ (тепловими насосами), оскільки по останніх є досить представницька і надійна інформація за їх характеристиками і, що не менш важливе, для техніко-економічного порівняння по їх комплектації і вартості. У завершенні автори відмічають, що особливо перспективний перехід на схеми ВВУ з ТНУ при зниженні температурних перепадів між температурами пари, що гріє і температурою конденсації вторинної пари.

Keywords: vacuum evaporation, heat pump, power supply

Ключові слова: вакуум-випарювання, еплловий насос, витрати енергії

There are known, that one of the very widely spread energy source for VE is the steam from the boiler or, sometimes it is possible from the vapor turbine extractions. The last case is more useful from the energy saving point of view, as soon as the pointed vapor flow fulfilled some useful work before to be taken for the heating the food solutions with goal their concentration. It is understandable, that than the pointed vapor flow pressure (temperature) lower, than the work already done before the extraction more, but the vapor generator heat transfer surface also increased too. It means that there exists the optimal steam temperature value from the economic point of view. The authors consider, that

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

the pointed principle would be right to take as the key base for the vapor generator parameters choice; using the corresponding information about the specific energy units and materials and thermal equipment prices for formation as main optimal criteria value as the so called as Sum of Expenditures Values.(SEV). It was taken and there were made the next steps in the optimization problem statement and solution.

The VE design parameters determination, including their mass equipment values& prices and expenditures on the collection and their installation and service during every year. Besides it, the next important item definition inside (SEV) have to be done. It was connected with energy expenditures such as the price on the thermal power with respect of the expenditures on the fuel for the boiler work or for the expenditures on the thermal energy production at the power station with vapor turbines and etc. The energy expenditures were summarizes from the product flow initial (inlet) temperature to the boiling temperature, also for the vaporization with key goal to increase concentration soluble premixes from the inlet values to the outlet ones and adding the thermal power losses to the environment. The main design parameters were connected with vapor generator price, including also statement; service and so on. The separate task was connected with secondary vapor flow condenser price and the expenditures on the cooling water flow. It was taken into consideration that in the case there are existed it own optimization conditions and parameters. The initial data list, the calculations formulas, and these formulas using order; it was formed the optimal parameters method determination, there were next:

The initial specific productivity mass values in G_n kg/hr or kg/sec.

The solid elements initial specific concentration in a_n kg/kg.

The outlet elements specific concentration in a_k kg/kg.

The hot vapor pressure at Pa or the corresponding saturation temperature t_{gr} value in K and it range.

The secondary vapor temperature in C and pressure P_{vt} in Mpa.

The vaporization temperature t_{vt} in C and it range.

The product initial temperature t_n in C.

The steam dryness factor or its enthalpy.

The heat exchanger heat transfer surface material and it physical properties.

The fuel kind view, it calorific power value and it unit specific price.

The main equipment elements cost and their surfaces service life.

The product thermo physical properties determination correlations.

The heat carrier thermo physical properties determination equations.

There are especially important determination (position 12) the product property values as different so called temperature depressions, including physical chemical (PCTD); hydrostatical and hydro dynamical. It is required for the first one to know the corresponding empirical formulas. Unfortunately, very often the information usually is absent. Sometimes it is exist. For example, in the case product is tomato juice, the necessary correlation to define (PCTD) exist. It has the next view:

$$\Delta Ph = 0.38 \cdot \exp(0.05 + 0.045 \cdot a_k) \quad (1)$$

Here: $\Delta Ph, a_k$ PCTD and outlet concentration value.

There are necessary to know for every product the similar empirical correlations to define PCTD value. As to hydrostatical depression value definition, it is necessary first of all to know the vapor generator design. If it is known, then the simple order calculation has the next view. It is connected first of all with the product liquid height optimal level can be determined with the next equation:

$$l_{opt} = [0.26 + 0.0014 \cdot \frac{(\rho_{pr} - \rho_{grk}(t_{vt}))}{kg \cdot m^3}] \cdot m \quad (2)$$

Here: l_{opt} ; $\rho_{grk}(t_{vt})$; ρ_{pr} - the optimal boiled product level inside vertical vapor generator tubes; the inlet and outlet product densities, correspondingly. Then the average pressure inside evaporator can be defined using the next formula:

$$P_{cp} = P_{vt} + 0.5 \cdot l_{opt} \cdot \rho_{pr} \cdot g \quad (3)$$

Then it is necessary to determine the vaporized water mass from the product W_{vt} . It is required to use the next formula:

$$W_{vt} = G_n \cdot (1 - \frac{a_n}{a_k}) \quad (4)$$

W_{vt} - is the product mass flow rate value in the kg/hr or kg/sec. Then, it is necessary to determine whole thermal power items. They are consisted from the thermal power for product flow heating from the initial temperature to the vaporization one Q_1 ; thermal power for the product partial vaporization Q_2 ; the thermal power connected with thermal power losses Q_{op} and whole thermal power value Q_0 .

The equations system these items defition has the next view:

$$Q_1 = G_n \cdot C_p \cdot (t_s - t_n) \quad (5)$$

$$Q_2 = W_{vt} \cdot r_{vt} \quad (6)$$

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

$$Q_{op} = 0.05 \cdot (Q_1 + Q_2) \quad (7)$$

and

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_{op} \quad (8)$$

The temperature drop inside the vapor generator can be determined on the next base:

$$\Delta t_i = t_{gri} - t_s \quad (9)$$

Here: Δt_i ; t_{gri} ; t_s – temperature drop; steam temperature; the saturation temperature, correspondingly.

The next steps into calculations connected with the heat transfer coefficient and specific heat flux inside vapor generator determination. In the first turn it is consisted from the separate heat transfer coefficients from the boiling product side on the generator tubes external surfaces and from the heat carrier (steam) condensation inside these tubes. The first heat transfer coefficient by the product solution boiling on the heated tubes external surface, proposed to be made, using the next formula:

$$\alpha_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\delta_1}\right) \cdot 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot (q_{1f} \cdot \frac{\delta_1 \cdot C_1 \cdot \rho_1}{r_1 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_1})^{0.6} \cdot (g \cdot \frac{\delta_1^3}{v_1^2})^{0.125} \cdot (P_1 \cdot \frac{\delta_1}{\sigma_1})^{0.7} \quad (10)$$

Here

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{\sigma_1}{(\rho_1 - \rho_2) \cdot g}} \quad (11)$$

$$q_{1f} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2; \quad (12)$$

$$\Delta t_2 = t_{gri2} - t_s \quad (13)$$

The other values are depicted

The product thermal physical properties: λ_1 ; r_1 ; ρ_2 ; ρ_1 ; v_1 ; σ_1 ; C_1 ; P_1 – the product liquid heat conductivity, latent heat; product vapor density; product liquid density; product liquid cinematic viscosity; product liquid surface tension value; the product liquid specific heat capacity; product vapor pressure, correspondingly.

It was suggested to use for the average heat transfer coefficient by the heated vapor condensation inside the generator tubes the known formulas for quick movement vapor flow condensation inside the long smooth tubes.

$$\frac{\alpha_1 \cdot d}{\lambda_1} = C_{10} \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr_1^{0.43} \cdot [1 + X_{cp} \cdot (\rho_1 / \rho_2 - 1)]^{0.5} \quad (14)$$

Here: α_1 ; d ; C_{10} ; Re_1 ; Pr_1 ; X_{cp} ; ρ_1 ; ρ_2 ; λ_1 – the average heat transfer coefficient along condensation surface by quick moving vapor inside tube with average mass flow vapor content equal X_{cp} ; the tube internal diameter; the semi empirical coefficient; average Reynolds Number; liquid condensate Prandtl Number; average mass flow vapor content; liquid condensate density; steam density; liquid condensate heat conductivity, correspondingly. Average Reynolds Number has the next view:

$$Re_1 = q \cdot d_1 / r_1 \cdot \mu_1 \quad (15)$$

Here q – average whole internal condensation surface specific heat flux; r_1 ; μ_1 – latent heat, condensate dynamic viscosity, correspondingly. The thermal resistance from the boiling product side on the external tube generator surface has to include itself, besides the boiling heat transfer item the wall material thermal resistance and the deposits on the product boiling surface, what, as a rule, to appear on it. So it means that:

$$R_\Sigma = (\delta_W / \lambda_W + R_{3ar}) \quad (16)$$

Here R_Σ ; δ_W ; λ_W ; R_{3ar} – whole thermal resistance from the boiling surface side; tube wall thickness, its heat conductivity; the deposits specific thermal resistance, correspondingly. The last value it is necessary to take on the base of service experience information. Therefore, the heat transfer intensity calculation has to be made on using common decision as specific heat flux determination as from product boiling process on the external generator surface, both as from water vapor condensation inside in the heated tubes. There is leading to the necessity solution two transcendent equations system or two degree equations with the next views:

$$\alpha_2 = Z11 \cdot \Delta t_2^{1.5} \quad (17)$$

and

$$1/k_2 = 1/\alpha_2 + \delta_W / \lambda_W + R_{3ar}; \quad q_2 = k_2 \cdot \Delta t_2 \quad (18)$$

Here:

$$Z11 = \delta_1^{1.675} \cdot \lambda_1 \cdot (C_1 \cdot \rho_1 / \rho_2 \cdot \frac{1}{r_1})^{1.5} \cdot (\rho_1 / \sigma_1)^{1.75} \cdot g^{0.3125} \cdot (v_1)^{-0.625} \quad (17a)$$

α_2 ; Δt_2 ; q – heat transfer coefficient from the liquid product boiling side on the heated external surface, the temperature drop from the side and specific heat flux from the side. The parameter $Z11$ is any complex, containing from the liquid product thermal physical properties values, pointed higher, it is necessary to account the values dimensions with respect of the formula empirical base. Naturally, to account here other thermal resistances, connected with wall thickness and deposits as the boiling product result. From the other side, the specific heat flux had to be the same.

That is:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1; \quad \Delta t_1 = t_{gr} - t_{W1}; \quad (19)$$

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

$$\text{and} \quad q_1 = q_2; t_{gr} - t_{w1} = t_{vt} - \Delta t_2; \quad (20)$$

The analysis these equations with all their details shown, that the steady state heat transfer processes intensity can be determined using one quadratic equation the next form:

$$t_{w1}^2 - 2 \cdot t_{w1} \cdot t_{gr11} - \frac{Z_{111}}{Z_{122}^2} \cdot t_{w1} + t_{10} \cdot \frac{Z_{111}}{Z_{122}^2} + t_{gr11}^2 = 0 \quad (21)$$

Here: t_{w1} ; t_{gr11} ; t_{10} ; Z_{111} ; Z_{122} – the determined average heating surface temperature; the steam saturation temperature; the secondary vapor saturation temperature; the complexes, combined itself as the thermal physical liquid product heated water vapor and condensate properties and properties of the heat transfer surface, including all connected with it geometry and physical properties.

There were on the base determined for the every variant the vapor generator surface, it mass, including container, different auxiliary elements and other parameters, what have to be known for technical and economic analysis. Estimated on it, the whole cost and connected with it capital expenditures. Besides it, there were estimated the financial expenditures, connected with expenditures on the energy consumption, with respect of the heated vapor energy potential. It allows to obtain the optimal vapor temperature value. Lower most typical results of the approach and base on it method, presented in the next pictures. There was for example, the VE for the concentrated tomato juice obtain.

There were taken the next positions in the author approach to the VE design optimal parameters definition:

1. The key optimization function the problem is total money expenditures, including as capital expenditures both energy losses and expenses during year or service time. It was taken, that it will be right to consider the similar initial position in the approach when as energy source the heated vapor flow, obtained from the vapor extraction turbine and from the usual boiler. The corresponding energy expenditures could be estimated with account possible power value to obtain from the vapor flow. Than vapor extraction temperature (pressure) lower, then more the power that could

be obtained on turbine. The part of the total expenditures form was calculated as the corresponding money expenses over value electric power multiplied on the electrical power unit price.

2. The other part of total expenditures was connected with main equipment cost. There were the VE vapor generator to evaporate required amount of concentrated solution. That was, in author case, tomato juice flow with any initial concentration, what had to be evaporate to the required final concentration.

The total expenditures part, related to the key equipment element expenses was estimated over the next steps. It was taken: every heat exchanger cost can be determined, using it surface (founded from the pointed calculations). Knowing surface, can be found it mass value, using the exchanger material mass unit price can be defined it total cost and so on. Corresponding items, connected with equipment expenditures were defined with mention approach account, including amortization input and service expenses. Therefore, total expenditures values were defined for every calculation variant. These calculations main results presented lower in the graphic view in figures. The optimization objects were as steam temperature for the vapor generator VE, both water flow rate for the secondary vapor condenser.

There were presented lower pointed above optimization results of the steam saturation temperature.

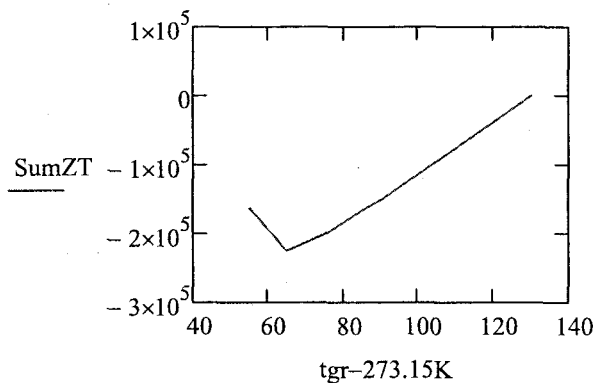


Fig. 1 – The total expenditures SumZT dependency, determined on the above prescribed optimization method base, on the steam temperature t_{gr}

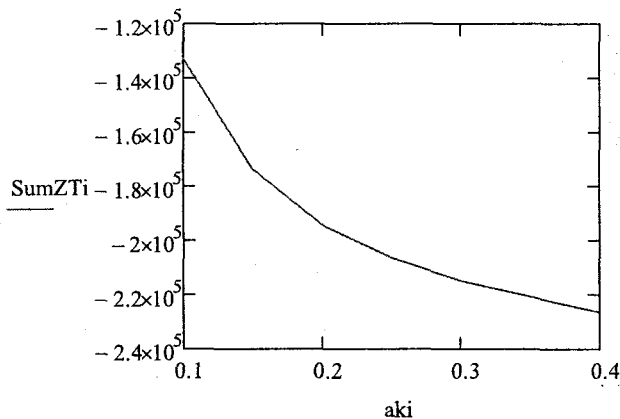


Fig. 2 – The minimum total expenditure $SumZT_i$ dynamic dependence on the final concentration value a_{kis} by one the same initial concentration 5 %

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Here the initial dry media concentration was 5 % and the final one was 40 %. The expenditure value in the minimum point were equal – $2.265 \cdot 10^5 \text{ grn}$.

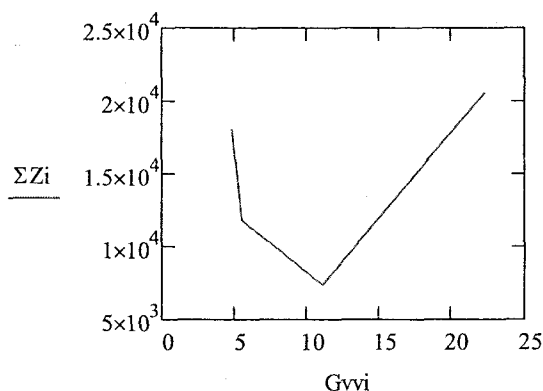


Fig. 3 – The total expenditures ΣZ_i dependency on the cooled water flow rate G_{vvi} by the optimization design for the secondary vapor condenser

Concluding notes and remarks

1. The perspective directions of the energy saving in the food technology relating different food solution admixtures concentration, using their vaporization in VE installation, may be connected with heat pump application.
2. The suggested approach to the problem and base on it method could be useful and grounded for right decision.
3. The real decision reliability extremely depended on the right and reliable information for equipment cost, energy, and fuel unit prices.
4. The heat pump application effectiveness will increased by the temperature drop between heating and cooling temperatures decreasing.

References

1. "Evaporator Hand Book", 4th Edition, APV Americas, Engineered Systems Separation Technologies
2. R. Simpson, S. Almonacid, D. Lopez, and A. Abakarov, "Optimum design and operating conditions of multiple effect evaporators: Tomato paste," J. Food Eng., Vol. 89, pp. 488-497, 2008.
3. K. J. Chua, S. K. Chou, and W. M. Yang, "Advances in heat pump systems: A review," Appl. Energy, Vol. 87, pp. 3611–3624, 2010.
4. Brennan, J. G. (2011) Evaporation and Dehydration, in Food Processing Handbook, Second Edition (eds J. G. Brennan and A. S. Grandison), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. doi: 10.1002/9783527634361.ch3
5. Dinçer, İ. and Kanoğlu, M. (2010) Heat Pumps, in Refrigeration Systems and Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9780470661093.ch6
6. Kasatkin A.G. "The main processes and apparatuses of the chemical technologies", M. "Chemistry", 1971, 784pp. (in Russian).
7. "The main processes and apparatuses the chemical technologies", "Designing Text Book", by edition Yu.I. Dutnersky, M. "Chemistry", 1983, 272pp. (in Russian).
8. "Processes and apparatuses of the food industrial plants Designing", by edition of Stabnikov V.N. Kiev, "High School", 1982, 200 pp. (in Russian).
9. "The Heat&Mass Transfer Theory", Publ. MGU named N.E. Bauman by edition of Leontiev A.I., 1997, 684 pp. (in Russian).
10. Isachenko V.P. "The heat transfer by condensation", M. "Energy", 1977, 240 pp. (in Russian).

УДК 663.243

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ТА АНАЛІЗУ
РОЗМІРНОСТЕЙ ПРИ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ
ПЕРЕРОБКИ ПЛОДІВ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР ХОЛОДНИМ
СПОСОБОМ**

**APPLICATION OF THE THEORY OF SIMILARITY AND DIMENSION ANALYSIS
WITH THE PHYSICAL AND MATHEMATICAL
MODELLING OF PROCESSES OF PROCESSING FRUITS STONE FRUITS COLD**

**Кепін М.І., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій
Kepin M.I.
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine**

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



У статті представлені результати експериментальних досліджень переробки плодів аличі сорту "Фіолетова десертна" холодним способом (у свіжому стані) на перфорованій поверхні в поле відцентрових

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

сил. Мета досліджень - розділення плодів на фракції - напівфабрикат, який використовується для подальшої переробки, і відходи (кісточки).

Розподіл відбувається внаслідок поступового відокремлення фрагментів м'якоті способом різання крайками отворів круглої форми нерухомої перфорованої оболонки. Рушійною силою процесу є обертальний рух лопатевого ротора.

Запропонований спосіб дозволяє процес поділу виконувати в безперервному режимі, отримувати напівфабрикат певної міри подрібнення і кісточку без зміни їх біологічних властивостей, що дозволить більш раціонально використовувати теплову енергію при подальшій переробці напівфабрикату.

Кісточку як цінну вторинну сировину можуть використати для виготовлення як харчових так і нехарчових продуктів, а також можуть бути використані в якості насіннєвого матеріалу в садівництві.

На основі фізичного моделювання, використовуючи теорію подібності та аналіз розмірностей, отримано залежність числа подібності з метою оцінки впливу діаметрів отворів та колової швидкості лопатей на ефективність процесу розділення плодів та отримано безрозмірний комплекс, що враховує співвідношення сил інерції та сил протидії при відокремленні м'якоті від кісточок.

The results of experimental studies processing fruits plum cultivar "Purple dessert" cold way (in a fresh state) in the perforated surface in a field of centrifugal forces. The purpose of research - the fruit division into fractions - half-finished product is used for further processing, and waste products (bones).

The distribution is due to the gradual separation of fragments of flesh means cutting edges holes round shape fixed perforated membrane. The driving force of the process is the rotational motion of the rotor blade.

The proposed method allows the separation process performed in a continuous mode, receive some extent, semi-finished grinding and pipes without altering their biological properties that allow more efficient use of thermal energy in the further processing of semi-finished products.

Bones as a valuable secondary raw materials can be used to make both food and non-food products and can be used as seed in gardening.

Based on the physical modeling using similarity theory and dimensional analysis, dependence of the number of similarities to assess the impact diameter holes and the angular velocity of the blades on the efficiency of the separation process fruits and obtained a dimensionless complex, taking into account the ratio of inertial forces and counter forces during separation of pulp seed.

Ключові слова: теорія подібності, плоди, переробка, холодний спосіб, перфорована оболонка, напівфабрикат, кісточка

Keywords: teoriya podibnosti, fruit, pererobka, cold sposib, perforovana obolonka, napivfabrikat, kistochki

В роботі [1] запропоновано новий спосіб переробки плодів кісточкових культур в свіжому стані на етапі попередньої переробки з метою їх розділення на напівфабрикат (м'якоть) та відходи (кісточки). Напівфабрикат є складовою подальшої переробки для виготовлення готової продукції, а кісточка є не менш цінною вторинною сировиною, продукція якої після переробки використовується в харчовій, косметологічній, фармацевтичній та інших галузях народного господарства.

Новий спосіб реалізується на нерухомій перфорованій поверхні у вигляді циліндричної оболонки в полі відцентрових сил. Рухомою силою процесу є обертальний рух лопатевого ротора, завдяки якому плоди під час обертального руху контактують з кромками отворів перфорованої оболонки, що приводить до поступового відокремлення м'якоті від кісточок.

Вивчення процесів, які мають місце при переробці рослинної сировини, переслідують щонайменше дві науково-практичні задачі: встановлення оптимальних значень параметрів, які впливають на процес і знаходження рівнянь зв'язку, які визначають кінцеву мету (продуктивність, витрати енергії, реалізацію безвідходного виробництва тощо).

Одержання рівнянь зв'язку являє собою доволі складну задачу, точне рішення якої можливо тільки на основі використання аналітичних методів. Такі методи дають вихідну інтерпретацію явищ у формі диференціальних рівнянь, які встановлюють зв'язки між факторами. Задача ускладнюється відсутністю знань структурно-механічних властивостей складових плодів, їх лабільністю та варіюванням в значних межах.

Загальні закономірності процесу переробки плодів з метою розділення на напівфабрикат та відходи дозволяють розкрити експериментальні дослідження, які базуються на використанні методів подібності [2]. Одним із вказаних методів – аналіз рівнянь – дозволяє, не розв'язуючи диференціальні рівняння, які описують процес, знайти певні співвідношення основних параметрів у вигляді безрозмірних чисел подібності і розглядати ці числа як нові узагальнені змінні, які виявляють сукупний вплив на процес.

Використання методів теорії подібності та аналізу розмірностей припускає можливість визначати оптимальні параметри нових зразків обладнання за результатами дослідів по їх зменшеним моделям, які володіють фізичною подібністю. Після цього за характеристиками моделі внаслідок перерахунку через

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

масштабні коефіцієнти можна одержати величини всіх параметрів натурального зразка машини, яка проектується. Але такий підхід не завжди себе виправдовує, що може бути пов'язано як із самою сировиною, так і дотриманням необхідних кінематичних та динамічних режимів.

Альтернативним рішенням є напрямок, при якому експериментальні дослідження за основними факторами відповідають натурному зразку. При такому підході достовірність одержаних даних зростає.

Якщо дослідження виконуються на однаковій натурній сировині, то фізичне моделювання вироджується в геометричне і необхідно витримувати умови подібності як сполучення кінематичного та матеріального.

Значний інтерес викликає наближене моделювання, при якому деякі фактори, які несуттєво впливають на процес який вивчається, моделюються наближено або зовсім не моделюються.

Процес переробки плодів кісточкових культур холодним способом (у свіжому стані) є складним несталім процесом. Головною причиною такої несталості є нестабільність структурно-механічних властивостей плодів в залежності від їх виду та сорту в кожному виді. Окрім вказаного, кожен плід, як біологічна система, складається із шкірочки, м'якоті та кісточок, які за фізико механічними характеристиками значно відрізняються між собою [3].

Для того, щоб процес переробки плодів повністю відтворювався в реальних умовах на реальній машині необхідно, щоб модельна установка і умови роботи на ній задовольняли наступним вимогам:

- плоди повинні задовольняти необхідним технологічним вимогам для одержання якісної продукції;
- діаметри отворів перфорованих оболонок на моделі та в промисловому зразку повинні бути однаковими;
- кінематичні параметри для моделі та промислового зразку повинні бути однаковими.

В лабораторних умовах виконано дослідження процесу переробки аличі сорту “Фіолетова десертна” з метою розділення на фракції в залежності від колової швидкості лопатей та діаметрів отворів. При цьому використовували експериментальну установку та методику дослідження, яка описана в роботі [1].

Використовуючи метод аналізу розмірностей з метою оцінки впливу діаметрів отворів та колової швидкості лопатей на ефективність процесу розділення плодів використовували число подібності Ke , яке розраховували за виразом

$$Ke = \frac{m_n - m_s}{m_n} = \frac{m_n - (m_k + m_{o.m.})}{m_n} \quad (1)$$

де m_n – вихідна маса плоду, кг; m_s – маса відходів, кг.

$$m_s = m_k + m_{o.m.} \quad (2)$$

где m_k – маса кісточок, кг; $m_{o.m.}$ – маса залишкової м'якоті на кісточці, кг.

Максимальна ефективність процесу відповідає стану, коли маса залишкової м'якоті на кісточці дорівнює нулю, $m_{o.m.} = 0$.

На основі методу “аналізу розмірностей” отримано безрозмірний комплекс, що враховує співвідношення сил інерції та сил протидії при відокремленні м'якоті від кісточок. По суті, отримано нове модифіковане число Ньютона

$$N_e = \frac{v_n^2}{\sigma} \rho \quad (3)$$

де v_n – колова швидкість лопатей, м/с; ρ – густина м'якоті, кг/м³; σ – узагальнений показник міцності покривної тканини та м'якоті, Н/мм².

Цей показник варіюється в доволі широкому діапазоні і залежить, як було показано вище, від виду культури, сорту в кожному виді, кліматичних умов і умов вирощування та інших чинників.

Колову швидкість лопатей визначали за виразом

$$v_n = \pi D n_n / 60 \quad (4)$$

де D – внутрішній діаметр перфорованої оболонки, м; n_n – кількість обертів лопатей, об/хв.

Вибір діаметрів отворів для реалізації процесу переробки плодів базувався на аналізі літературних джерел та наукових видань. Так, при переробці кісточкових плодів після їх розварювання за допомогою протиральних машин [7], використовували перфоровані оболонки (сита) з діаметрами отворів (5...7) мм.

В лабораторних умовах дослідження процесу відокремлення м'якоті від кісточок використовували перфоровані оболонки з діаметрами отворів 2, 4, 6, 8 та 10 мм.

Для визначення впливу діаметрів отворів на процес відокремлення м'якоті скористалися відношенням базового діаметру отвору до отворів діаметром 4, 6, 8 та 10 мм (d_0/d_i). За базовий діаметр прийняли отвір діаметром 2 мм. В результаті одержали наступні співвідношення: 1,00; 0,50; 0,33; 0,25; 0,20.

Частоту обертання лопатей варіювали на рівнях 600, 900, 1200, 1500 та 1800 об/хв, що відповідало їх колової швидкості 3,72; 5,57; 7,43; 9,29 та 11,15 м/с.

На кожному рівні експерименти виконували в десятикратній повторності.

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Таким чином, критеріальне рівняння, яке описує процес відокремлення м'якоті від кісточок на перфорованій поверхні в полі відцентрових сил має наступний вигляд

$$Ke = A(N_e)^m (d_6/d_i)^n \quad (5)$$

де A , m , n – постійні, які визначали за результатами експериментальних досліджень.

Результати експериментальних досліджень

За результатами експериментальних досліджень побудовано графічну залежність (рис. 1) процесу переробки плодів аличі сорту “Фіолетова десертна” з метою їх розділення на складові – м'якоть та кісточки.

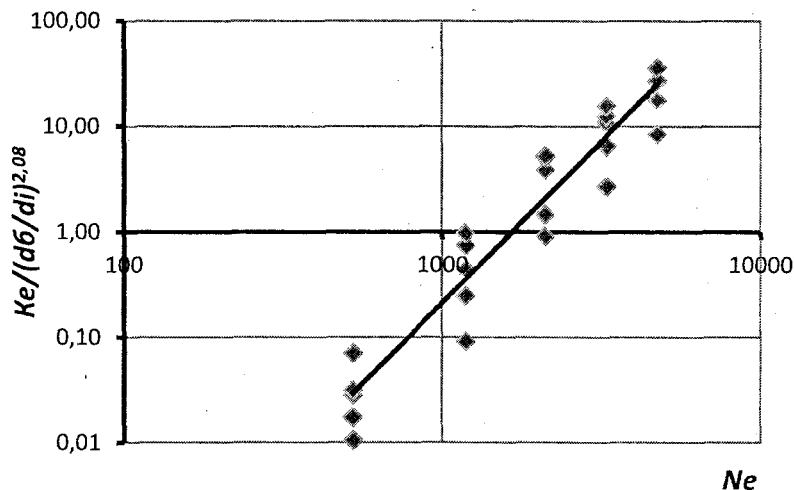


Рис. 1 – Залежність продуктивності процесу відокремлення м'якоті від кісточок від числа Ньютона

Вказана залежність може бути описана виразом

$$Ke = 1 \cdot 10^{-10} (N_e)^{3,07} (d_6/d_i)^{2,08} \quad (6)$$

Рівняння (6) справедливе для діапазону критерію Ньютона $500 \leq N_e \leq 5000$, відношенню діаметрів отворів в діапазоні $1,00 \leq d_6/d_i \leq 0,20$ при переробці плодів кісточкових культур в межах міцності покривної тканини на прокол ($0,1 \leq \sigma \leq 0,4$) Н/мм² та середній густині м'якоті $\rho = 1020$ кг/м³.

Висновки

1. Використання перфорованих оболонок з діаметрами отворів перфорації 2 та 4 мм є недоцільним при переробці плодів з аналогічними характеристиками.
2. Продуктивність процесу розділення плодів у свіжому стані на напівфабрикат та відходи залежить від числа Ньютона та діаметрів отворів, із збільшенням яких інтенсивність відокремлення м'якоті від кісточок збільшується.
3. При виготовленні перфорованих оболонок діаметри отворів перфорації можуть бути рекомендовані в діапазоні (6...8) мм. Використання перфорованих оболонок з діаметрами отворів перфорації 10 мм приводить до руйнування кісточок в межах до 5 % і не можуть бути рекомендовані для промислових умов стосовно плодів, в яких максимальний розмір кісточок (висота) не перевищує 10 мм.

Література

1. Кепін М.І. Порівняльна оцінка способів розділення плодів кісточкових культур на напівфабрикат і відходи без попередньої термообробки/ОНАХТ. Пищевая наука и технология. – 2008. – № 3 – С. 53-57.
2. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – Изд. 2-е доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
3. Красильникова Л.О., Садовниченко Ю.О. Анатомія рослин. Рослинна клітина, тканини, вегетативні органи: Навч. посіб. – Х.: Колорит, 2004. – 245 с.

ЗМІСТ

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УТВОРЕННЯ КИСЛОГО КОНДЕНСАТУ ПРИ ГЛИБОКІЙ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЙОГО НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ Долінський А.А., Целень Б.Я., Гартвіг А.П., Коник А.В., Радченко Н.Л., Щепкін В.І.....	4
ИНТЕГРАЦИЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В ПРОЦЕСС РАЗДЕЛЕНИЯ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ Ульєв Л.М., Зебешев Т.З., Рябова И.Б., Васильєв М.А., Маатоук А.....	8
КІНЕТИКА РОЗЧИНЕННЯ ПОЛІДИСПЕРСНОГО КАЛІЮ СУЛЬФАТУ ЗА ПЕРЕМІННОЇ РУШІЙНОЇ СИЛИ Симак Д.М., Гумницький Я.М., Атаманюк В.М., Данилюк О.М.....	13
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОЗПЛАВУ НАТРІЙ ПРОФОСФАТУ З ОКАЛИНОЮ, УТВОРЕНОЮ В ПРОЦЕСІ ГАРЯЧОГО ОБРОБЛЕННЯ МЕТАЛІВ ТИСКОМ Черемісінова А.О.....	18
МОДЕЛЮВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГРАНУЛОУТВОРЕННЯ МІНЕРАЛЬНО- ГУМІНОВИХ ДОБРИВ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ Корнієнко Я.М., Сачок Р.В.....	22

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ДЕРИВАТОГРАФІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНЕВОДНЕННЯ БЕТАНІНОВІСНИХ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ТЕРМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Самойленко К.М., Михайлик В.А.....	27
КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПОДРІБНЕНИХ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА Кіндзера Д.П., Атаманюк В.М., Говоський Р.Р.....	32
РІВНОВАГА, МЕХАНІЗМ І КІНЕТИКА ПРОЦЕСІВ ЕКСТРАГУВАННЯ ТА СУШІННЯ Семенишин Є. М., Цюра Н. Я., Римар Т.І., Кривавич А. С.....	38
ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРУБОПРОВІДНОЇ АРМАТУРИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ Володін С.О., Мирончук В.Г.....	44
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЕКСТРАКЦІЇ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН З ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ЕКЗОТИЧНИХ ФРУКТІВ Парняков О.С., Барба Ф., Грімі Н., Лебовка М.І., Вороб'єв Е.....	49
ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПАРАМЕТРІВ СУШІННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ЕНЕРГОПІДВЕДЕННЯ Дубковецький І.В., Малезик І.Ф., Бурлака Т.В.....	53
МАСОПЕРЕНОС ПРИ ЕКСТРАГІРОВАНИИ ИЗ ЛЕЧЕБНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ Бурдо О.Г., Бурдо А.К., Альхури Юсеф, Сиротюк И.В.....	59
МИКРОВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАСООБМЕННЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ Левтринская Ю. О., Ружицкая Н.В., Резниченко Т.А., Бандура В.Н.....	67
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ Безбах І. В., Воскресенська О. В.....	74

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ.
ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СУШКИ КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО- ПОРИСТЫХ ТЕЛ В УСЛОВИЯХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ Снежкин Ю.Ф., Сорокова Н.Н.....	78
МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ГІДРОДИНАМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОТОКІВ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ ВІБРОЕКСТРАГУВАННІ НА ОСНОВІ КОМРКОВОЇ МОДЕЛІ ІЗ ЗАСТІЙНИМИ ЗОНАМИ Мисюра Т.Г., Зав'ялов В.Л., Лобок О.П., Бодров В.С., Попова Н.В., Запорожець В.В.....	83

СИСТЕМНО-ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО ЖАРЕННЯ БІФШТЕКСІВ	90
Потапов В.О., Костенко С.М.....	
ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ФАЗ ПРИ МЕМБРАННОМУ ФІЛЬТРУВАННІ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ	94
Пащенко Б.С., Штефан Є.В.....	
РОЗРОБЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ФІЗІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК МЕТОДОМ ЕКСТРАГУВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	98
Дячок В.В., Запорожець Ю.В., Гуглич С.І.....	
МЕХАНІЗМИ ДИСПЕРГУВАННЯ ЖИРОВИХ КУЛЬОК В СТРУМІННОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ МОЛОКА	103
Самойчук К. О., Ковальов О.О.....	
ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ	
ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АДСОРБЦІЙНОГО РЕГЕНЕРАТОРА НИЗЬКО-ПОТЕНЦІЙНОГО ТЕПЛА ТА ВОЛОГИ НА ОСНОВІ КОМПОЗИТНИХ СОРЕБЕНТІВ «СИЛКАГЕЛЬ – НАТРІЙ СУЛЬФАТ» ТА «СИЛКАГЕЛЬ – НАТРІЙ АЦЕТАТ» СИНТЕЗОВАНИХ ЗОЛЬ – ГЕЛЬ МЕТОДОМ	108
Коломієц О.В., Сухий К.М., Беяновська О.А., Томило В.І., Прокопенко О. М., Сухий М.М.....	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ ВОДА – УКСУСНАЯ КИСЛОТА	113
Рябова И.Б., Селихов Ю.А., Коцаренко Ю.А., Горбунов К.А., Быканов С.Н., Бабак Т.Г., Сиренко Е.В., Горбунова О.В.....	
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕЗАКТИВАЦІЇ КООЛІГОМЕРИЗАТУ ІЗ ФРАКЦІЇ С ₉ ОТРИМАНОГО ДВОСТАДІЙНИМ ТЕРМІЧНО-КАТАЛІТИЧНИМ СПОСОБОМ	117
Гнатів З.Я., Никулишин І.Є., Гузьова І.О., Матківська І.Я.....	
ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ	
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ВАКУУМ-ВИПАРЮВАННЯ	121
Смірнов Г.Ф., Зиков О.В., Резніченко Д.М.....	
ПРОБЛЕМА ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ	126
Гивлюд А.М., Сабадаш В.В., Гумницький Я.М.....	
СИНТЕЗ ПРОСТОРОВИХ ПОТОКОВО-ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЛІНІЙ ПАКУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	131
Гавва О.М., Кривошляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В., Якимчук М.В., Токарчук С.В.....	
МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ РЕГІОНУ І ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПИЛООЧИЩЕННЯ	138
Куц В.П., Гумницький Я.М., Марціяш О.М.....	
ВІДХОДИ ОЛІЙНОЖИРОВОГО ПІДПРИЄМСТВА, ЯК ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ	143
Ткаченко С. Й., Денесак Д. І., Іщенко К. О.....	
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ ТА АНАЛІЗУ РОЗМІРНОСТЕЙ ПРИ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ПЛІДІВ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР ХОЛОДНИМ СПОСОБОМ	146
Кепін М.І.....	
ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЦУКРОВОГО СИРОПУ В НАПОЇ ПРИ ЗМІШУВАННІ У ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМІННОМУ АПАРАТІ	150
Самойчук К.О., Паніна В.В., Полудненко О.В.....	