

11. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии [Текст]: учеб. пособие / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха, И. А. Потяженко. — К.: Вища школа, 1980. — 264 с.
12. Бродский, В. З. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей [Текст]: справочное издание / В. З. Бродский, Л. И. Бродский, Т. И. Голикова. — М.: Металлургия, 1982. — 753 с.
13. Афонин, Г. Г. Моделирование обмена Ni<sup>2+</sup> на сильноокислотной ионообменной смоле и органо-неорганическом ионите [Текст] / Г. Г. Афонин, Ю. А. Безносик, Ю. С. Дзязько, Л. Н. Пономарева // Технологический аудит и резервы производства — 2015. — № 2/4(22). — С. 63–67. doi:10.15587/2312-8372.2015.40640
14. Dzyazko, Y. S. Ion-exchange resin modified with aggregated nanoparticles of zirconium hydrophosphate. Morphology and functional properties [Text] / Y. S. Dzyazko, L. N. Ponomaryova, Y. M. Volkovich, V. V. Trachevskii, A. V. Palchik // Microporous and Mesoporous Materials. — 2014. — Vol. 198. — P. 55–62. doi:10.1016/j.micromeso.2014.07.010
15. Дзязько, Ю. С. Органо-неорганические иониты для извлечения токсичных примесей из водных растворов [Текст] / Ю. С. Дзязько, Л. Н. Пономарева, В. Н. Беляков, Ю. М. Вольфович, В. Е. Сосенкин // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2012. — Т. 12, № 4. — С. 554–562.
16. Статюха, Г. О. Вступ до планування оптимального експерименту [Текст]: навч. посіб. / Г. О. Статюха, Д. М. Складанний, О. С. Бондаренко. — К.: НТУУ «КПІ», 2011. — 124 с.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ НИКЕЛЯ ИЗ КОМБИНИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ

Исследовано извлечение ионов Ni<sup>2+</sup> из комбинированного раствора с использованием сильноокислотной гелевой катионообменной смолы и композиционного ионита на ее основе, содержащего агрегаты наночастиц гидрофосфата циркония. С помощью планирования эксперимента получены модели процесса извлечения ионов Ni<sup>2+</sup> из раствора с помощью полимерного и органо-неорганического ионита.

**Ключевые слова:** ионообмен, очистка воды, ионы никеля, кальция, магния, математическая модель, планирование эксперимента.

*Афонін Геннадій Геннадійович, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Безносик Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: yu\_beznosyk@ukr.net.*  
*Дзязько Юлія Сергіївна, доктор хімічних наук, старший науковий співробітник, відділ сорбційних та мембранних матеріалів і процесів, Інститут загальної і неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України, Київ, Україна.*

*Складанний Денис Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Бондаренко Олена Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Афонин Геннадий Геннадиевич, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Безносик Юрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Дзязько Юлия Сергеевна, доктор химических наук, старший научный сотрудник, отдел сорбционных и мембранных материалов и процессов, Институт общей и неорганической химии им. В. И. Вернадского НАН Украины, Киев, Украина.*

*Складанний Денис Николаевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Бондаренко Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра кибернетики химико-технологических процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Afonin Gennadiy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.*

*Beznosyk Yuriy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: yu\_beznosyk@ukr.net.*

*Dzyazko Yuliyia, V. I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the Ukrainian National Academy of Sciences, Kyiv, Ukraine.*

*Skladannyi Denis, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.*

*Bondarenko Olena, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.*

УДК 664.8.022.7

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.58826

**Терешкін О. Г.,  
Горелков Д. В.,  
Дмитревський Д. В.**

## ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ОВОЧІВ ПІД ЧАС ЇХ ОЧИЩЕННЯ

*Запропоновано математичну модель процесу термічної обробки овочів під час їх очищення, яка характеризує залежність глибини провареного шару овочів від тривалості процесу їх термічної обробки та тиску пари, та доведено, що за умов обробки гострою парою час досягнення максимальної температури поверхні продукту не впливає на загальну тривалість процесу проварювання.*

**Ключові слова:** термічна обробка, тиск пари, проварювання, якість, витрати, очищення.

### 1. Вступ

Для вирішення проблеми переробки сільськогосподарської сировини необхідно розробляти технічні засоби не тільки для промислової переробки сільськогосподар-

ської сировини, а і налагоджувати випуск малогабаритної техніки для закладів ресторанного господарства.

На сьогоднішній день відповідальнішим процесом попередньої обробки овочевої сировини є її очищення. Безперечним є той факт, що під час очищення значна

частина сировини втрачається внаслідок того, що для здійснення цього процесу використовується недосконале морально застаріле обладнання. До недоліків існуючого обладнання можна віднести його матеріало- та енергоємність, значні втрати під час очищення сировини, необхідність у наявності допоміжного устаткування, а також відсутність належного контролю за якістю продукції, яка виготовляється найчастіше в ручному режимі. Відомо, що навіть при проведенні первинної обробки сировини в промислових умовах її втрати становлять 15...35 %.

Сучасне устаткування пропонує здебільшого реалізацію механічного способу очищення, який характеризується значною кількістю відходів та необхідністю проведення доочищення. Одним зі шляхів розв'язання питання якісного очищення овочів є застосування комбінованих способів очищення, їх дослідження та створення сучасного вітчизняного устаткування.

Першочергово необхідно звернути увагу на розробку устаткування для переробки сільськогосподарської сировини розповсюджені на території України [1].

Одним із перспективних для переробки видів культур є цибульні овочі, які є сировиною для виготовлення багатьох видів кулінарної продукції [2, 3]. Сучасне устаткування пропонує здебільшого реалізацію механічного способу очищення, який характеризується значною кількістю відходів та необхідністю проведення доочищення [4–6].

Одним зі шляхів розв'язання питання якісного очищення овочів є застосування комбінованих способів очищення, їх дослідження та створення сучасного вітчизняного устаткування [7–9].

Доцільність розробки і впровадження комбінованих процесів та обладнання для їх реалізації в закладах ресторанного господарства і овочепереробних підприємствах логічно витікає з аналізу існуючих способів очищення овочевої сировини та їх апаратного забезпечення. Реалізація в одному апараті декількох процесів дає можливість вилучити додаткове обладнання для калібрування, сортування, миття, доочищення, що, в свою чергу, забезпечить безпеку під час виробництва продукції, сприяючи більш раціональному використанню ресурсів. Крім економії трудових ресурсів та виробничих площ нове покоління технологічних апаратів покликано істотно скоротити втрати сировини. Економічно доцільно застосовувати універсальне і багатоопераційне компактне обладнання, в якому реалізується декілька процесів, що дозволить переробляти різні види сировини та випускати різноманітну продукцію із стабільними показниками якості. Розробка та впровадження в серійне виробництво екологічно безпечного ресурсозберігаючого обладнання нового покоління, конкурентоспроможного на внутрішньому і зарубіжному ринках є актуальною задачею для забезпечення продовольчої безпеки України [10].

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На сьогоднішній день важливим процесом попередньої обробки плодово-овочевої сировини є її очищення.

Одними з найпоширеніших овочевих культур, які використовуються при виробництві різних видів кулінарної продукції є цибуля ріпчаста [11–13]. Незважаючи на популярність цих культур питання їх якісного очищення у закладах ресторанного господарства та на

овочепереробних підприємствах, на теперішній час, залишається не вирішеним.

Проведений огляд устаткування для очищення цибулі ріпчастої свідчить про неможливість використання існуючих зразків, призначених для використання в овочепереробній промисловості, в закладах ресторанного господарства.

Крім того, представлене устаткування не забезпечує якісного очищення цибулі від шкірки і має певні недоліки:

- машини для попередньої обробки цибулі виконують, як правило, одну операцію;
- при використанні машини для попередньої обробки цибулі з одночасним підвищенням продуктивності, порівняно з ручною обробкою, збільшуються втрати на очищення;
- для здійснення технологічного процесу попередньої обробки цибулі звичайно створюються лінії з серії одноопераційних машин, які завжди мають різну продуктивність і функціональні можливості, в зв'язку з чим лінії є габаритними і малопродуктивними;
- при використанні лінії для очищення цибулі від лушпиння обов'язково потрібна окрема машина;
- при використанні лінії для очищення цибулі від донця і шийки потрібне обов'язкове якісне калібрування кожної цибулини і окрема машина;
- різання цибулі виконується в окремих машинах, що потребує певний час для перевантаження очищеної цибулі, а це знижує якість продукції при використанні ліній для очищення цибулі;
- при закінченні обробки необхідно виконувати ручне доочищення і сортування сировини;
- у машинах і лініях попередньої обробки цибулі значну частку займає ручна праця;
- відомі машини не дозволяють забезпечити виконання всіх основних технологічних операцій попередньої обробки цибулі.

Таким чином, відомі машини для попередньої обробки цибулі не є універсальними, малоєфективні, мають обмежений сегмент використання.

Виходячи з аналізу представлених способів очищення та установок для їх реалізації, ефективності їх роботи та можливостей застосування в закладах ресторанного господарства і овочепереробних підприємствах можна зробити висновок, що проблема очищення на теперішній час повністю не вирішена. Одним зі шляхів забезпечення обраного напрямку на ресурсозбереження та енергозаощадження є розробка та впровадження у виробництво екологічно безпечного обладнання, що реалізує принципово нові комбіновані способи комплексної переробки різних видів сільськогосподарської сировини із стабільними показниками якості [14]. Реалізація в одній конструкції апарата декількох процесів дає можливість вилучити додаткове обладнання для калібрування, сортування, миття, доочищення, що, в свою чергу, забезпечить безпеку під час виробництва продукції, сприяючи більш раціональному використанню ресурсів.

Одним із найбільш перспективних напрямків інтенсифікації процесу очищення рослинної сировини є розробка комбінованих способів та нових спеціалізованих апаратів, принцип роботи яких засновано на поєднанні процесів обробки продукту. Доцільність розробки і впровадження комбінованих процесів та обладнання для їх

реалізації на підприємствах ресторанного господарства і підприємствах овочепереробної галузі логічно витікає із аналізу існуючих способів очищення плодово-овочевої сировини та їх апаратурного оформлення.

Перспективним напрямом інтенсифікації та автоматизації процесу якісного очищення цибулі ріпчастої є розробка нового спеціалізованого апарата, принцип дії якого засновано на синтезі термічного та механічного процесів обробки.

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

*Об'єкт дослідження* — комбінований процес очищення овочевої сировини.

*Метою проведених досліджень* було визначення впливу параметрів процесу термічної обробки гострою парою овочів під час проведення комбінованого способу їх очищення та побудова математичних моделей процесу термічної обробки.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- провести системний аналіз процесів очищення цибулі ріпчастої та відповідного обладнання для їх реалізації;
- розробити методики та експериментальні установки для дослідження впливу властивостей овочевої сировини на параметри теплового процесу очищення;
- розробити науково-теоретичні основи комбінованих процесів очищення овочевої сировини, спрямованих на отримання готового продукту високої якості;
- розробити теоретичні моделі термічної обробки сировини, які дозволяють розрахувати тривалість обробки парою і значення її тиску, визначити інтервали їх раціональних значень, щодо практичного використання під час подальшого доочищення овочів.

### 4. Матеріали та методи дослідження процесу термічної обробки овочевої сировини

Виходячи з того, що в основу розробленого способу очищення цибулі ріпчастої та конструкції запропонованого апарата [15] покладено комбінований спосіб очищення, який складається з короткочасної обробки парою з метою послаблення сил зв'язку сухого лушпиння з основною частиною із підвищенням коефіцієнта тертя та подальшою обробкою у барабанній камері, із впливом відцентрових сил на лушпиння, виникає ряд умов, які повинні бути відображені в методиці та експериментальній установці.

Виходячи з поставленої мети першочерговою задачею є визначення низки чинників, які теоретично мають впливати на процес відокремлення луски. Отже такими чинниками з боку предмету дослідження — цибулі ріпчастої є початкова вологість, форма, розмір, товщина шару луски, маса, товщина насипного шару.

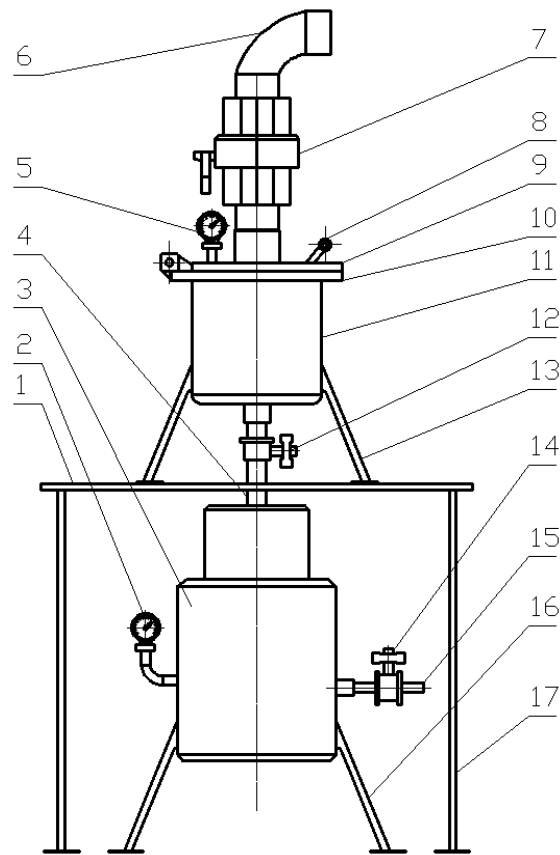
Основними чинниками, які необхідно дослідити є температура пари для попереднього пропарювання, тривалість пропарювання, коефіцієнт завантаження робочої та форма отворів перфорації робочої камери [16, 17].

Однією зі стадій комбінованого процесу очищення цибулі ріпчастої є процес попередньої термічної обробки цибулі парою. Для забезпечення потрібної глибини термічної обробки необхідно встановити раціональну

тривалість обробки цибулі парою. Глибина термічної обробки поверхневого шару цибулі повинна забезпечувати ефективне зняття лушпиння за мінімальних втратах сировини.

Для дослідження впливу параметрів термічної обробки було спроектовано та виготовлено експериментальну установку (рис. 1).

Установка складається з наступних елементів: рама установки 1, розміщена на стійках 17, на ній закріплено робочу камеру 11, в якій відбувається процес термічної обробки парою надлишкового тиску. Робоча камера закріплена на рамі стійками 13. Тиск пари в робочій камері визначається за допомогою манометра 5. Для забезпечення герметичності робоча камера щільно закривається кришкою 9, що з'єднується з фланцем 10 робочої камери.



**Рис. 1.** Схема експериментальної установки для дослідження впливу термічної обробки на поверхневий шар цибулі ріпчастої: 1 — рама експериментальної установки; 2 — манометр парогенератора; 3 — парогенератор; 4 — патрубок підводу пари до робочої камери від парогенератора; 5 — манометр робочої камери; 6 — випускний патрубок; 7 — пристрій для випуску пари; 8 — важіль для відкривання кришки робочої камери; 9 — кришка робочої камери; 10 — фланець робочої камери; 11 — робоча камера; 12 — кран подачі пари до робочої камери; 13 — стійки робочої камери; 14 — кран подачі води до парогенератора; 15 — патрубок подачі води до парогенератора; 16 — стійки парогенератора; 17 — стійки рами

Пара з робочої камери випускається крізь патрубок 6, який є частиною пристрою для випуску пари 7.

Для вироблення пари використовується парогенератор 3, який закріплено на стійках 16. Частина парогенератора заповнена водою, для нагрівання якої використовуються ТЕНи. Інша частина парогенератора

порожня для подальшого заповнення її паром. Під час нагрівання води і утворення пари необхідно провести попередній випуск повітря з парогенератора.

Подача пари до робочої камери з парогенератора відбувається крізь патрубков 4 при відкритому кранові 12. Для підтримання необхідного рівня води в парогенераторі його під'єднано до централізованого водопроводу. Під час відкривання крана 14 вода надходить всередину парогенератора крізь патрубков 15. Для дотримання техніки безпеки, регулювання рівня води в парогенераторі необхідно здійснювати тільки тоді, коли тиск в ньому буде дорівнювати атмосферному. Для прискорення виходу парогенератора на робочий режим, зниження втрат теплоти в навколишнє середовище, зовнішні елементи парогенератора було вкрито шаром теплоізоляційного матеріалу. Експериментальна установка для дослідження впливу термічної обробки на поверхневий шар овочів працює наступним чином. Перед початком роботи необхідно перевірити рівень води в парогенераторі 3. Якщо є потреба, необхідно встановити її належний рівень. Після включення ТЕНів тиск пари в парогенераторі буде поступово підвищуватися. Тиск пари необхідно контролювати за допомогою манометра 2. У той час, коли парогенератор вийде на робочий режим, потрібно завантажити цибулини до робочої камери 11. Щільність притискання кришки до фланця робочої камери забезпечується спеціальним гумовим кільцем, яке встановлюється в проточку кришки. Після цього необхідно відкрити кран 12, забезпечивши подачу пари з парогенератора до робочої камери.

Таким чином буде відбуватися процес термічної обробки овочів гострою паром під тиском. Перед випуском пари припиняється її подача з парогенератора до робочої камери, закриттям крана 12, який розміщено на патрубку 4. Потім необхідно відкрити кран пристрою для випуску пари 7. Після цього кришку робочої камери слід відкрити за допомогою важеля 9 і виїняти овочі.

За умови збільшення глибини термічної обробки поверхнього шару цибулини збільшиться кількість втрат сировини під час механічного очищення, оскільки разом із лускою буде відділятися поверхневий шар цибулини, який зазнав змін у результаті дії пари. У даному випадку, стає необхідним зменшити глибину термічної обробки цибулі, зменшивши тривалість термічної обробки та значення тиску пари. Але у разі зменшення цих параметрів процес відділення лушпиння від цибулі може відбуватися не достатньо ефективно, або не відбуватися зовсім. Ефективність відділення лушпиння цибулі після термічної обробки (без підвищеного тиску для мінімізації величини провару та зниження енергетичних витрат на пароутворення) можна оцінити експериментальним шляхом під час її механічного доочищення за рахунок дії відцентрових сил на цибулину у робочій камері, що обертається.

## 5. Результати досліджень процесу термічної обробки овочевої сировини

Необхідність попереднього проварювання овочів перед очищенням обумовлена зниженням механічної міцності клітинних стінок шкірки внаслідок деструкції протопектино-геміцелюлозного комплексу. Деструкція починається за температури 60°C, і з підвищенням температури ін-

тенсивність цього процесу прискорюється [18]. Лабільні форми протопектино-геміцелюлозного комплексу швидко руйнуються за температури вище 90°C. Тому, з точки зору технологічного процесу, необхідно забезпечити за найкоротший термін підвищення температури у поверхневих шарах плоду в межах 90...95°C. Це можна реалізувати за умов обробки овочів гострою паром.

З урахуванням цього фізико-математична модель процесу попереднього проварювання повинна ґрунтуватися на вирішенні задачі теплопровідності з метою визначення часу необхідного для проварювання плодів до заданої температури на задану глибину. Як зазначено вище, температурний діапазон проварювання однозначно визначений хімічними реакціями, але глибина проварювання залежить не тільки від виду овочів, але й від терміну зберігання. Тому рішення відповідної математичної моделі повинно містити залежність часу проварювання від глибини проварювання [19].

Сформулюємо основні припущення відповідної фізико-математичної моделі. Оскільки за малих часів теплової обробки паром відсутні значні втрати маси овочів, то математична модель процесу проварювання зводиться до рішення рівняння теплопровідності у відсутності внутрішніх джерел маси та конвенційного перенесення теплоти всередині продукту. Також будимо вважати теплофізичні характеристики продукту сталими на протязі теплової обробки, а форму продукту, яким являється цибуля ріпчаста, близькою до сферичної.

Рівняння теплопровідності у цьому випадку записується таким чином:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T, \quad (1)$$

з урахуванням граничних умов III-го роду на поверхні продукту:

$$\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=\bar{R}} = \alpha (T_{\infty} - T) \Big|_{\bar{r}=\bar{R}}, \quad (2)$$

де  $T$  – температура продукту, К;  $T_{\infty}$  – температура оточуючого середовища (пари), К;  $a$  – коефіцієнт теплопровідності продукту, м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>;  $\tau$  – поточний час, с;  $\nabla^2$  – диференціальний оператор Лапласа;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К;  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну, Вт/м<sup>2</sup>К;  $R$  – характерний розмір тіла (радіус), м.

Рішення цих рівнянь для тіла сферичної форми за умов сталості теплофізичних характеристик продукту має наступний вигляд:

$$\theta(\xi, Fo) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2W_{\Gamma}(\mu_i, \xi)}{\mu_i V_{\Gamma}(\mu_i)} \frac{Bi^2}{\mu_i^2 + Bi^2 - Bi} e^{-\mu_i^2 Fo}, \quad (3)$$

де

$$V_{\Gamma}(\mu_i, \xi) = \frac{\sin(\mu_i) - \mu_i \cos(\mu_i)}{\mu_i^2}, \quad (4)$$

$\mu$  – корені характеристичного рівняння:



$$W_T(\mu)/V_T(\mu) = \mu/Bi;$$

$\xi = r/R$  – безрозмірна координата;  $\theta$  – безрозмірна температура:

$$\theta = \frac{T_\infty - T}{T_\infty - T_0}, \quad (5)$$

де  $T_0$  – початкова температура тіла, К;  $F_0 = a\tau/R^2$  – число Фур'є;  $Bi = \alpha R/\lambda$  – число Біо.

Наведені формули дозволяють розраховувати температуру в будь-якій точці тіла, в будь-який момент часу, але використання цих формул в практиці інженерних розрахунків стикається з рядом проблем. По-перше, рівняння (3) не має аналітичного розв'язання відносно числа  $F_0$  – безрозмірної тривалості нагрівання (проварювання), по-друге, за малої тривалості нагрівання, у так званому нерегулярному режимі, температурні поля всередині тіла невпорядковані, тому у формулі (3) треба враховувати нескінчену кількість членів ряду.

У зв'язку із цим поточним завданням досліджень є отримання рівняння відносно тривалості проварювання, яке можливо використовувати у практиці інженерних розрахунків. Для вирішення цієї задачі можна скористуватися наближеним рішенням задачі теплопровідності (1) запропонованим в роботі. Сутність цього методу полягає в тому, що розглядається початковий процес нагрівання симетричного тіла, коли температурний фронт поширюється з кінцевою швидкістю від поверхні до центру тіла. При цьому температура на межі фронту (межа збуреної та незбуреної частини тіла) залишається незмінною та рівною початковій температурі тіла, а на зовнішній поверхні тіла виконуються граничні умови III-роду. Цей перший етап нагрівання закінчується, коли фронт збурення досягає центру тіла. Ця модель цілком відповідає випадку проварювання овочів, коли авторів цікавить саме глибина проварювання, тобто положення фронту температурного збурення.

Наближення рішення задачі (3) отримане за описаним вище наближенням має наступний вигляд [19]:

$$Fo = \frac{\delta_t^2}{12} + \frac{\delta_t}{3Bi} - \frac{2}{3Bi^2} \ln\left(1 + \frac{\delta_t}{2} Bi\right), \quad (6)$$

де  $\delta_t$  – безрозмірна товщина температурного фронту збурення, яка визначається наступним чином:

$$\delta_t = \frac{x}{R}, \quad (0 \leq x \leq R), \quad (7)$$

де  $x$  – товщина шару продукту, на якій температура змінюється від максимальної на поверхні до мінімальної (початкової  $t_0$ ).

При цьому температура в межах шару змінюється за параболічним законом:

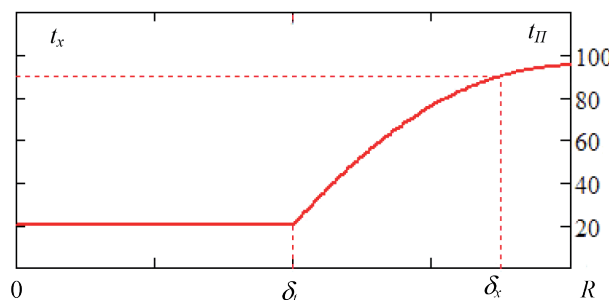
$$t(x) = t_0 + (t_\Pi - t_0) \left[ 1 - \left( \frac{x}{\delta_t} \right)^2 \right], \quad (0 \leq x \leq \delta_t), \quad (8)$$

де  $t_0$  – температура на межі збуреної та незбуреної області продукту, °С;  $t_\Pi$  – температура поверхні продукту, °С.

Зазначимо, що безпосередньо використовувати формулу (6) для розрахунку глибини проварювання неможливо, бо температура в межах збуреної області змінюється від початкової до максимальної на поверхні, тому проварюватися буде тільки деякий шар, який примикає до поверхні продукту (рис. 2). З урахуванням того, що деструкція протопектино-геміцелюлозного комплексу має помітну швидкість за температур більше 90 °С, логічним є визначити глибину проварювання як товщину шару продукту, в якому температура перевищує 90 °С. За умов обробки гострою парою приймаємо температуру поверхні продукту  $t_\Pi = 95$  °С, а температуру на фронті проварювання  $t_x = 90$  °С, також приймаємо температуру незбуреної частини продукту рівною початковій  $t_0 = 20$  °С. Тоді на підставі рівняння (8) отримуємо зв'язок між товщиною температурного фронту збурення та глибиною проварювання.

$$\delta_t = 3,87\delta_x, \quad (9)$$

де  $\delta_x = \delta/R$  – безрозмірна глибина проварювання, на якій температура дорівнює 90 °С;  $\delta$  – глибина проварювання, м.



**Рис. 2.** Схема визначення глибини проварювання продукту:  $\delta_t$  – товщина температурного фронту збурення;  $\delta_x$  – глибини проварювання;  $R$  – радіус продукту;  $t_x$  – температуру на фронті проварювання ( $t_x = 90$  °С);  $t_\Pi$  – температура поверхні продукту ( $t_\Pi = 95$  °С)

З урахуванням (7), формули (8) та визначення для числа Фур'є отримуємо остаточне рівняння для розрахунку тривалості проварювання продукту залежно від глибини проварювання:

$$\tau = \frac{R^2}{a} \left[ 1,25\delta_x^2 + 1,29 \frac{\delta_x}{Bi} - \frac{0,67}{Bi^2} \ln(1 + 1,94Bi \cdot \delta_x) \right]. \quad (10)$$

В цій формулі тривалість проварювання виражена в секундах. Виходячи з визначення безрозмірної глибини проварювання (9) формула (10) справедлива в інтервалі ( $0 \leq \delta_x \leq 0,26$ ), що обумовлено максимальним значенням товщини температурного фронту збурення  $\delta_t = 1$  згідно прийнятої моделі нагрівання у нерегулярному режимі. Треба зазначити, що отримана формула має сенс для сталої температури поверхні продукту. У реальному процесі нагрівання температура поверхні поступово збільшується від початкової до максимальної, яка визначається умовами теплообміну на поверхні тіла. Тому наступним завданням є отримання рівняння для визначення тривалості змінювання температури на поверхні продукту. Якщо цей час займає помітну величину,

то його треба додавати до тривалості проварювання розрахованої за рівнянням (10).

Отримаємо наближену модель тривалості прогрівання поверхні тіла до максимальної температури в умовах обробки гострою парою.

Основні припущення даної моделі наступні. Оскільки розглядається нескінченно тонкий поверхневий шар продукту, то диференціальне рівняння теплопровідності розглядається у одновимірному вигляді. За малої тривалості процесу вважаємо теплофізичні характеристики сталими. На поверхні виконуються граничні умови третього роду.

$$\frac{\partial T_{\Pi}}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T_{\Pi}}{\partial x^2}, \quad (11)$$

$$\lambda \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial x} = \alpha(T_{\infty} - T_{\Pi}), \quad (12)$$

де  $T_{\Pi}$  — температура поверхні продукту, К;  $x$  — поточна координата тонкого поверхневого шару, продукту ( $R - x$ )/ $R \rightarrow 0$ .

Зробимо наступні перетворення. Знайдемо другу похідну від температури за координатою з граничної умови (12).

$$\lambda \frac{\partial^2 T_{\Pi}}{\partial x^2} = -\alpha \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial x}. \quad (13)$$

Замінімо першу похідну за координатою в останньому рівнянні виразом з граничної умови (12):

$$\lambda \frac{\partial^2 T_{\Pi}}{\partial x^2} = -\frac{\alpha^2}{\lambda} (T_{\infty} - T_{\Pi}), \quad (14)$$

та підставимо значення другої похідної з (14) в рівняння (11) і тоді отримаємо звичайне диференціальне рівняння:

$$\frac{dT_{\Pi}}{d\tau} = a \left( \frac{\alpha}{\lambda} \right)^2 (T_{\Pi} - T_{\infty}). \quad (15)$$

З урахуванням запису для безрозмірної температури (5) отримуємо наступне диференціальне рівняння у безрозмірному вигляді:

$$\frac{d\theta_{\Pi}}{dF_o} = -Bi^2 \theta_{\Pi}. \quad (16)$$

Рішенням цього рівняння за початкової умови  $\theta_{\Pi}|_{F_o=0} = 1$  є:

$$\theta_{\Pi} = e^{-Bi^2 F_o}. \quad (17)$$

Згідно цього рівняння за аргументу  $Bi^2 F_o \gg 1$  температура на поверхні продукту досягає максимального значення. Таким чином час досягнення максимальної температури поверхні можна визначити поклавши  $Bi^2 F_o_{\min} = 10$ .

Звідки:

$$F_o_{\min} = 10/Bi^2, \quad (18)$$

або

$$\tau_{\min} = 10R^2/(a \cdot Bi^2). \quad (19)$$

Виконаємо оцінювання тривалості досягнення максимальної температури поверхні продукту за умов його обробки гострою парою. По-перше визначимо коефіцієнт теплообміну за умов конденсації пари на поверхні продукту кулястої форми. Коефіцієнт теплообміну за умов природної краплинної конденсації дорівнює:

$$\alpha = 0,728 \left[ \frac{g \lambda_w^3 \rho_w^2 r_w}{\mu (t_{\infty} - t_{\Pi}) d} \right]^{1/4}, \quad (20)$$

де  $g$  — прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ ;  $\lambda_w$  — коефіцієнт теплопровідності рідини,  $Вт/(м \cdot К)$ ;  $\rho_w$  — густина рідини,  $кг/м^3$ ;  $r_w$  — прихована теплота пароутворення,  $Дж/кг$ ;  $\mu_w$  — динамічна в'язкість рідини,  $Па \cdot с$ ;  $t_{\infty}$  — температура пари,  $К$ ;  $t_{\Pi}$  — середня температура поверхні продукту,  $К$ ;  $d$  — діаметр плоду,  $м$ .

Для наступних значень фізичних величин, що входять до формули (19) за умов обробки гострою парою  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\lambda_w = 0,68 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ;  $\rho_w = 958 \text{ кг/м}^3$ ;  $r_w = 2,2 \text{ Дж/кг}$ ;  $\mu_w = 282 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;  $t_{\infty} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{\Pi} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $d = 0,04 \text{ м}$  отримуємо середнє значення коефіцієнта теплообміну  $\alpha = 7891 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ . З урахуванням теплофізичних характеристик цибулі [20–22]:  $\lambda_2 = 0,50 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ;  $a_2 = 13,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$  отримуємо наступне значення числа  $Bi = 315$ . Розрахунок за формулою (19) дає наступну тривалість досягнення максимальної температури поверхні для цибулі  $\tau_{\min} = 0,3 \text{ с}$ .

Таким чином час досягнення максимальної температури поверхні продукту не впливає на загальну тривалість процесу проварювання та його можна не враховувати. На рис. 3 наведено залежність тривалості проварювання від глибини провареного шару цибулі за формулою (10).

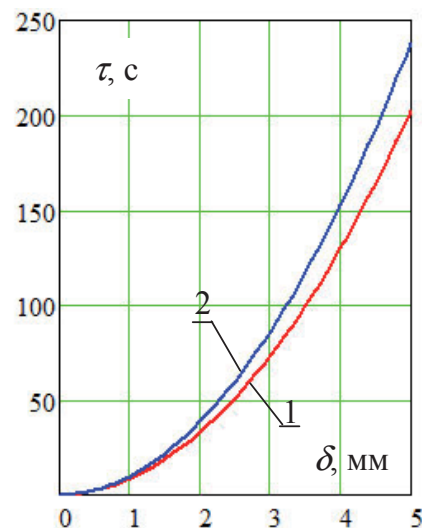


Рис. 3. Розрахункова тривалість проварювання цибулі гострою парою до заданої глибини проварювання: 1 — цибуля ранніх сортів; 2 — цибуля пізніх сортів

Як показують розрахунки, для типової глибини проварювання 2...3 мм, що забезпечують необхідну якість наступного механічного очищення тривалість процесу термічної обробки знаходиться в межах 50...100 с, що добре узгоджується з наявними експериментальними даними.

Як було зазначено, однією зі стадій комбінованого процесу очищення цибулі ріпчастої є процес її попередньої термічної обробки парою. Для забезпечення по-

трібної глибини термічної обробки необхідно встановити раціональну тривалість обробки цибулі гострою парою. На рис. 4 представлена залежність глибини термічної обробки поверхневого шару цибулі ріпчастої від тривалості її обробки парою.

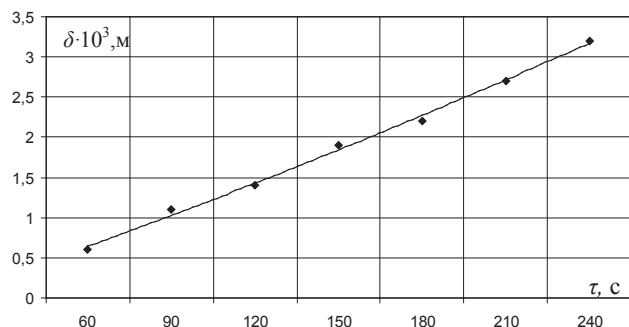


Рис. 4. Залежність глибини термічної обробки поверхневого шару цибулі ріпчастої від тривалості її обробки парою

Глибина термічної обробки поверхневого шару цибулі повинна забезпечувати ефективне зняття луски за мінімальних втрат сировини [23, 24].

Відображена на рис. 4 залежність свідчить про те, що зі збільшенням тривалості обробки цибулі ріпчастої парою відповідно зростає глибина термічної обробки поверхневого шару цибулини.

Таким чином, треба знати раціональну тривалість проварювання до оптимального значення товщини провару поверхневого шару цибулини. Тому, наступним кроком було отримання емпіричної залежності:

$$\delta = a_1 + a_2 \cdot \tau + a_3, \quad (21)$$

де  $\tau$  — тривалість проварювання цибулини, с;  $\delta$  — товщина провару поверхневого шару цибулини, мм;  $a_i$  — регресійні коефіцієнти.

Відповідні експериментальні дані та їх апроксимація рівнянням (21) представлено на рис. 5–7.

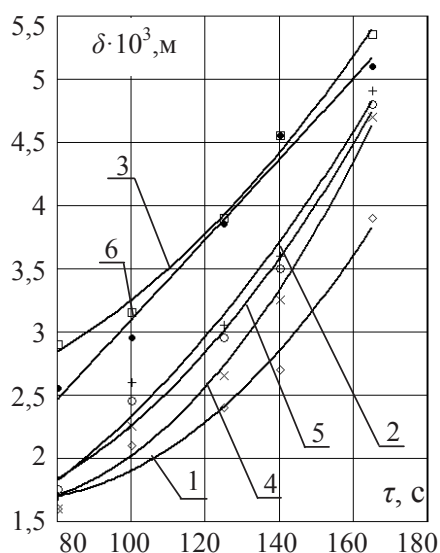


Рис. 5. Товщина провару поверхневого шару цибулини в залежності від тривалості проварювання (за коефіцієнта завантаження 0,3) та форми і діаметра отворів: 1 — коло, 12 мм; 2 — коло, 17 мм; 3 — коло, 22 мм; 4 — еліпс, 12 × 18 мм; 5 — еліпс, 17 × 23 мм; 6 — еліпс, 22 × 28 мм

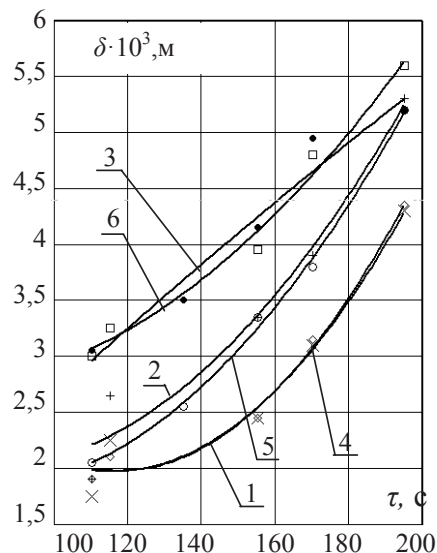


Рис. 6. Товщина провару поверхневого шару цибулини в залежності від тривалості проварювання (за коефіцієнта завантаження 0,5) та форми і діаметра отворів: 1 — коло, 12 мм; 2 — коло, 17 мм; 3 — коло, 22 мм; 4 — еліпс, 12 × 18 мм; 5 — еліпс, 17 × 23 мм; 6 — еліпс, 22 × 28 мм

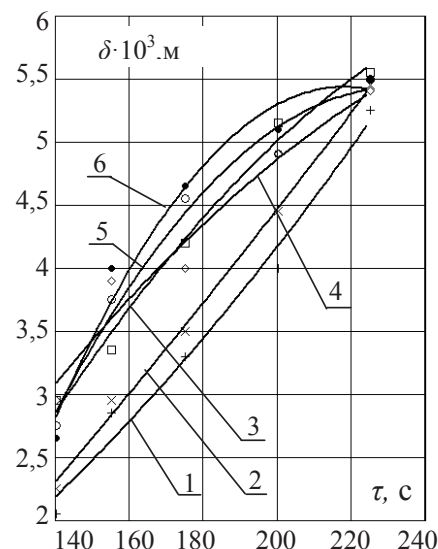


Рис. 7. Товщина провару поверхневого шару цибулини в залежності від тривалості проварювання (за коефіцієнта завантаження 0,7) та форми і діаметра отворів: 1 — коло, 12 мм; 2 — коло, 17 мм; 3 — коло, 22 мм; 4 — еліпс, 12 × 18 мм; 5 — еліпс, 17 × 23 мм; 6 — еліпс, 22 × 28 мм

Отримане рівняння (21) дозволяє визначити тривалість проварювання цибулі до стану, який забезпечує максимальну ступінь очищення.

Так, за коефіцієнта завантаження 0,3 раціональна тривалість проварювання у барабані з отворами великої площі (3, 5, 6) складає 140 с, а за коефіцієнта завантаження 0,5 для таких саме отворів 170 с. За коефіцієнта завантаження 0,7 відповідна раціональна тривалість проварювання у барабані з отворами великої площі становить 180 с.

## 6. Обговорення результатів дослідження процесу термічної обробки овочевої сировини

Наведені дослідження дозволяють визначити необхідну глибину термічної обробки поверхневого шару

цибулі, яка повинна забезпечувати ефективне зняття луски за мінімальних втратах сировини. Отримані результати дозволяють встановити тривалість проварювання цибулі до стану, який забезпечує максимальну ступінь очищення.

Розроблені теоретичні моделі термічної обробки овочевої сировини дозволяють розрахувати тривалість обробки її парю і значення тиску пари, а також визначити інтервали їх раціональних значень, щодо практичного використання під час проведення подальшого механічного доочищення.

Використання раціональних параметрів проведення комбінованого процесу очищення цибулі ріпчастої дозволяє знизити втрати сировини, поліпшити якість очищення, а також значно інтенсифікувати процес очищення. Крім цього, на підставі проведених експериментальних досліджень розроблено і обґрунтовано конструкцію апарата для комбінованого очищення цибулі ріпчастої та визначено основні режими його роботи.

На сьогоднішній день теоретичне моделювання та дослідження термічного процесу очищення цибулі ріпчастої є новим. В подальшому планується розширити експериментальні та теоретичні дослідження шляхом визначення впливу параметрів термічного процесу очищення на інші види овочевої сировини. Планується встановити вплив сорту, терміну зберігання та сортових особливостей овочів на параметри проведення комбінованих способів очищення.

## 7. Висновки

1. На підставі проведеного системного огляду процесів очищення овочевої сировини доведено, що під час очищення цибулі ріпчастої значна частина сировини втрачається та відсутній ефективний контроль за якістю кінцевої продукції.

2. Встановлено, що відомі машини для очищення цибулі малоефективні, потребують додаткового обладнання і виконання ручного доочищення та мають обмежений сегмент використання.

3. Визначено, що перспективним напрямом інтенсифікації та автоматизації процесу якісного очищення цибулі ріпчастої є розробка нового спеціалізованого апарата, принцип дії якого засновано на синтезі термічного, гідродинамічного та механічного процесів обробки.

4. Отримано теоретичну модель процесу проварювання, яка пов'язує глибину провареного шару продукту з необхідною тривалістю процесу, а саме тривалість термічної обробки цибулі для забезпечення глибини провареного шару продукту 2...3 мм складає 50...100 с.

5. Запропоновано математичну модель процесу термічної обробки цибулі ріпчастої, яка характеризує залежність глибини термічної обробки поверхневого шару від тривалості процесу термічної обробки.

6. Отримано математичні рівняння дозволяють визначити раціональну глибину термічної обробки поверхневого шару цибулі, яка забезпечить ефективне зняття луски за мінімальних втрат сировини.

## Література

1. Васюкова, А. Т. Организация производства и управление качеством продукции в общественном питании [Текст] / А. Т. Васюкова, В. И. Пивоваров, К. В. Пивоваров. — М.: Дашков и Ко, 2006. — 296 с.

2. Баранов, В. С. Основы технологии продукции общественного питания [Текст] / В. С. Баранов. — М.: Экономика, 1989. — 270 с.

3. Беляев, М. И. Производство полуфабрикатов для предприятий общественного питания [Текст] / М. И. Беляев, Г. А. Винокуров, А. И. Червко. — М.: Экономика, 1985. — 194 с.

4. Аминов, М. С. Технологическое оборудование консервных и овощесушильных заводов [Текст] / М. С. Аминов, М. С. Муратов, Э. М. Аминова. — М.: Колос, 1996. — 431 с.

5. Ботов, М. И. Тепловое и механическое оборудование предприятий торговли и общественного питания [Текст] / М. И. Ботов, В. Д. Елхина, О. М. Голованов. — М.: Академия, 2003. — 464 с.

6. Скрипников, Ю. Г. Оборудование предприятий по хранению и переработке плодов и овощей [Текст] / Ю. Г. Скрипников, Э. С. Гореньков. — М.: Колос, 1993. — 336 с.

7. Гончаренко, Г. М. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв [Текст]: довідник / Г. М. Гончаренко, В. В. Дуб, В. В. Гончаренко. — К.: Центр учбової літератури, 2007. — 304 с.

8. Драгилев, А. И. Технологические машины и аппараты пищевых производств [Текст] / А. И. Драгилев, В. С. Дроздов. — М.: Колос, 1999. — 375 с.

9. Драгилев, А. И. Технологическое оборудование предприятий перерабатывающих отраслей АПК [Текст] / А. И. Драгилев, В. С. Дроздов. — М.: Колос, 2001. — 352 с.

10. Чедаев, А. С. Оборудование предприятий общественного питания [Текст] / А. С. Чедаев. — М.: МГУТУ, 2004. — 68 с.

11. Thompson, A. K. Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage [Text] / A. K. Thompson. — John Wiley & Sons, 2015. — 990 p. doi:10.1002/9781118653975

12. Levin, D. N. Plant handbook data [Text] / D. N. Levin // Food Engineering. — 1962. — № 36. — P. 89–94.

13. Brennan, J. G. Food Processing Handbook [Text] / J. G. Brennan. — Wiley: VCH, 2006. — 607 p.

14. Беляев, М. И. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов [Текст] / М. И. Беляев, П. Л. Пахомов. — Х.: ХИОП, 1991. — 160 с.

15. Терешкін, О. Г. Ефективність процесу очищення цибулі ріпчастої комбінованим способом [Текст]: II Всеукр. наук.-практ. конф. / О. Г. Терешкін, Д. В. Горелков, Д. В. Дмитревський // Актуальні проблеми харчової промисловості та ресторанного господарства. Сучасні питання підготовки кадрів. — Луганськ: ЛНУ ім. Т. Шевченка, 2013. — С. 25–26.

16. Терешкін, О. Г. Розробка методики дослідження процесу відокремлення луски цибулі ріпчастої та експериментальної установки для її реалізації [Текст]: темат. зб. наук. пр. / О. Г. Терешкін, Д. В. Горелков, Д. В. Дмитревський // Обладнання та технології харчових виробництв. — Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. — Вип. 29. — С. 58–63.

17. Liljedahl, J. B. Measurement of shearing energy [Text] / J. B. Liljedahl, G. L. Jackson, R. P. De Graff, M. E. Schroeder // Agricultural Engineering. — 1961. — № 42. — P. 298–301.

18. Deynichenko, G. Stabilization of quality cleaning onion innovative way [Text] / G. Deynichenko, O. Tereshkin, D. Gorelkov, D. Dmitrevskiy // Recent Journal. — 2013. — Vol. 14, № 4(40). — P. 246–250.

19. Остапчук, Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств [Текст] / Н. В. Остапчук. — К.: Вища школа, 1991. — 367 с.

20. Barrett, D. Processing Fruits: Science and Technology [Text] / D. Barrett, L. Somogyi, H. Ramaswamy. — CRC Press, 2004. — 841 p. doi:10.1201/9781420040074

21. Polly, S. L. Compilation of thermal properties of Foods [Text] / S. L. Polly, O. P. Snyder, P. A. Kotnour // Food Technology. — 1980. — № 11. — P. 76–94.

22. Potter, N. Food Science [Text] / N. Potter. — Netherlands: Springer, 1986. — 578 p. doi:10.1007/978-94-015-7262-0

23. Постнов, Г. М. Дослідження впливу термічної обробки парю на поверхневий шар цибулі ріпчастої [Текст]: зб. наук. пр. / Г. М. Постнов, О. Г. Терешкін, Д. В. Дмитревський, І. В. Василець // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі. — Харків: ХДУХТ, 2015. — Вип. 1(21). — С. 205–213.



24. Терешкін, О. Г. Дослідження параметрів комбінованого процесу очищення цибулі ріпчастої [Текст]: зб. наук. пр. / О. Г. Терешкін, Д. В. Горелков, Д. В. Дмитревський // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі. — Харків: ХДУХТ, 2013. — Вип. 1(17), Ч. 1. — С. 159–165.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ВО ВРЕМЯ ИХ ОЧИСТКИ

Предложена математическая модель процесса термической обработки овощей во время их очистки, которая характеризует зависимость глубины проваренного слоя овощей от продолжительности процесса их термической обработки и давления пара, и доказано, что в условиях обработки острым паром при достижении максимальной температуры поверхности продукта не влияет на общую продолжительность процесса проваривания.

**Ключевые слова:** термическая обработка, давление пара, проваривание, качество, потери, очистка.

*Терешкін Олег Георгійович, доктор технічних наук, доцент, кафедра готельного та ресторанного бізнесу, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна.*

*Горелков Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М. І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна.*

*Дмитревський Дмитро Вячеславович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М. І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна, e-mail: dmitrevskiyd@gmail.com, dmitrevskiy@mail.ru.*

*Терешкин Олег Георгиевич, доктор технических наук, доцент, кафедра гостиничного и ресторанного бизнеса, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.*

*Горелков Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент, кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М. И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.*

*Дмитревский Дмитрий Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М. И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина.*

*Tereshkin Oleg, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine.*

*Gorelko Dmytro, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine.*

*Dmytrevskiy Dmytro, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine, e-mail: dmitrevskiyd@gmail.com, dmitrevskiy@mail.ru*

УДК 613.292.004.12

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.60313

**Погожих М. І.,  
Головко Т. М.,  
Дьяков О. Г.,  
Павлюк І. М.**

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІЛКОВО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК ПРОФІЛАКТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Досліджено властивості білково-мінеральних добавок профілактичного призначення з метою створення збалансованого раціону харчування людини. Для здобуття даних використовувались методи дисперсного аналізу та ядерної магнітної спектроскопії у рідинах з різною полярністю. В результаті проведених досліджень визначені зміни фізичних властивостей добавок профілактичного призначення, які є основою для створення продуктів харчування, збагачених на незамінні есенціальні нутрієнти.

**Ключові слова:** дисперсний аналіз, спектроскопія ядерного магнітного резонансу, час спин-спінової релаксації.

### 1. Вступ

Харчування — один з найважливіших чинників, які забезпечують зв'язок людського організму з навколишнім середовищем і надає вирішального впливу на стан здоров'я, працездатність, розумову діяльність, витривалість організму до впливу шкідливих факторів виробничого, техногенного та природного походження. Особливе значення для підтримки стану здоров'я та довголіття людини має повноцінне та регулярне забезпечення організму усіма необхідними мікронутрієнтами: незамінними амінокислотами, вітамінами, мінеральними складовими. Причому найбільш доцільний і фізіологічний шлях надходження цих складових до організму — харчовий [1].

Недостатнє надходження мікронутрієнтів з їжею — загальна проблема сучасного людства. Вона виникла, з результату зниження інтенсивності фізичного наванта-

ження на організм, як наслідок цього зниження енерговитрат і відповідного зменшення загальної кількості їжі, яку споживає людина. На фоні такого дефіциту виникають порушення метаболізму і так звані хвороби метаболічного походження. Такі захворювання виникають у разі дефіциту незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот і мінеральних речовин. Стосовно дефіциту мінералів частіше за все причиною тяжких захворювань виступають залізо, йод, кальцій, селен та інші. Найбільш доцільним і ефективним, а також і економічно доступним шляхом кардинального покращення забезпеченості населення мікронутрієнтами є регулярне залучення до раціону харчування продуктів харчування оздоровчої дії [2].

Збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами — це серйозне втручання до складу продуктів харчування, яке вимагає від фахівців не лише суто товарознавчих