

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*VII Міжнародної науково-практичної
конференції*

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

9-13 вересня 2019 р.



ОДЕСА
2019

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська
Я.О. Масельська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Бурдо <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Атаманюк <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Васильєв <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
Гавва <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Гумницький <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Долинський <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Зав’ялов <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Сукманов <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Колтун <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr
Корнієнко <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Малежик <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Михайлов <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
Паламарчук <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Снежкін <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України
Сорока <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Сухий <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., професор
Тасімов <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Товажнянський <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Ткаченко <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор
Черевко <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
Шит <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с

СЕКЦІЯ 3.

**ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

УДК 536.24

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ МОНОГРАНУЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИМИТИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Басок Б.И. д-р. техн. наук, профессор, Давыденко Б.В. д-р. техн. наук, ст. научн. сотр.,
Тимошенко А.В., канд. техн. наук
Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

TEMPERATURE MONOGRANULATION MODE IN THE PRODUCTION OF SIMULATED FOOD PRODUCTS

Basok B.I., Davydenko B.V., Timoshchenko A.V.
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine, Kiev

Анотация. Методом численного моделирования исследован температурный режим грануляционной колонны при производстве имитированных моногранулированных пищевых продуктов. Найдено расстояние, которое должна пройти частица в грануляционной колонне для завершения процесса ее гелирования. Показано влияние теплоизоляции колонны на потери теплоты с ее поверхности.

Abstract. The temperature regime of the granulation column in the production of imitated monogranular food products has been studied using a numerical simulation method. The distance that a particle must pass in the granulation column to complete its gelling process has been found. The effect of thermal insulation of a column on heat loss from its surface is shown.

Ключевые слова: моногранулирование, имитированные пищевые продукты, грануляционная колонна, теплообмен, теплоизоляция.

Key words: monogranulation, imitated food products, granulation column, heat transfer, heat insulation.

Одна из технологий производства имитированных пищевых продуктов связана с процессом моногранулирования. В основу технологии положены следующие операции. Рабочий белоксодержащий раствор, обладающий свойством образовывать гели при нагревании и содержащий необходимые вкусовые добавки, направляется в устройство для монодисперсного дробления струи жидкости на капли [1]. Образовавшиеся капли направляются для термоформования в грануляционную колонну.

Грануляционная колонна является одним из основных элементов оборудования при производстве гранулированных пищевых продуктов. Она представляет собой металлический цилиндр, в котором циркулирует нагретое растительное масло. В его среде происходит гранулообразование, протекающее вследствие процесса гелирования частиц. Начало процесса гелирования связано с достижением каплями требуемой температуры (~60...63оС), при которой начинается термокоагуляция белковых компонентов рабочего раствора, начальная температура которого составляет 20...25 оС. Таким образом, высота грануляционной колонны должна быть не менее расстояния z_n , которое проходят капли от входа в колонну до той точки, в которой ее температура повышается до температуры начала термокоагуляции. Следует отметить, что термокоагуляция происходит не мгновенно, а на протяжении некоторого отрезка времени, в течение которого должен завершиться указанный сложный физико-химический процесс, обеспечивающий требуемые показатели готового продукта. Поэтому высота колонны должна быть больше, чем величина z_n .

Для нахождения z_n решается сопряженная задача теплообмена капли меланжа в среде нагретого растительного масла в постановке, аналогичной той, что была рассмотрена в [2, 3]. Отличие в данном случае состоит в том, что задача решается с учетом зависимости вязкости жидкостей от температуры. Вязкость растительного масла значительно уменьшается при увеличении температуры от 20 оС до 70 оС. Как было показано в работах [2, 3], характер движения жидкости внутри капли циркуляционный. Гидродинамическое сопротивление движения жидкой капли в формирующей среде ниже, чем для твердой частицы такого же диаметра. Однако это имеет место лишь до того момента времени, пока поверхность капли в результате термокоагуляции не начинает затвердевать.

После достижения поверхностью капли температуры 63оС начинается процесс термокоагуляции белка, в результате которого жидкая капля трансформируется в квазитвердое тело. Это происходит на протяжении определенного отрезка времени, в течение которого вещество капли можно приближенно считать жидкостью с вязкостью, стремительно растущей, но ограниченной. Такая модель принимается для решения сопряженной задачи теплообмена капли на той стадии, когда температура ее поверхности начинает превалировать над температурой начала термокоагуляции.

Результаты расчета скорости движения центра массы капли диаметром $D_k=2,8$ мм от времени и расстояния, на которое она при этом переместилась, представлены на рис.1. Как видно из рисунка (кривая 1), скорость капли после стремительного повышения в начальный период времени сначала стабилизируется, а затем начинает уменьшаться и после этого асимптотически выходит на постоянную величину ($w_k \approx 0,045$ м/с). Связано

это с изменением во времени вязкостей формирующей среды и вещества капли. На заключительной стадии термоформования жидкость капли у ее поверхности практически переходит в твердое состояние. Постепенно в это же состояние трансформируются и внутренние слои капли. Внутреннее циркуляционное движение при этом прекращается, а сила гидродинамического сопротивления, действующая на каплю, увеличивается. Вследствие этого уменьшается скорость движения центра массы капли. Также при этом уменьшается и интенсивность теплопереноса от формирующей среды к капле. Зависимость среднеобъемной температуры капли от времени представлена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, процесс формования гранулы начинается уже после первой секунды пребывания капли в формирующей среде. Исключая из представленных на рис.1 и рис. 2 зависимостей $z_k(\tau)$ и $t(\tau)$ время τ , можно получить зависимость $t(z_k)$ (рис.3), из которой определяется расстояние z_k , пройденное частицей внутри колонны до момента начала ее термоформования. В данном случае оно составляет $z_k^* \approx 0,05$ м.

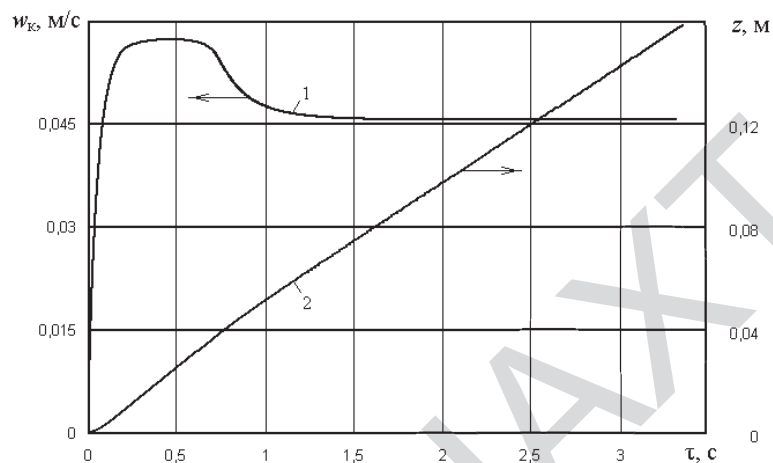


Рисунок 1. Зависимость скорости капли и расстояния, пройденного каплей, от времени.

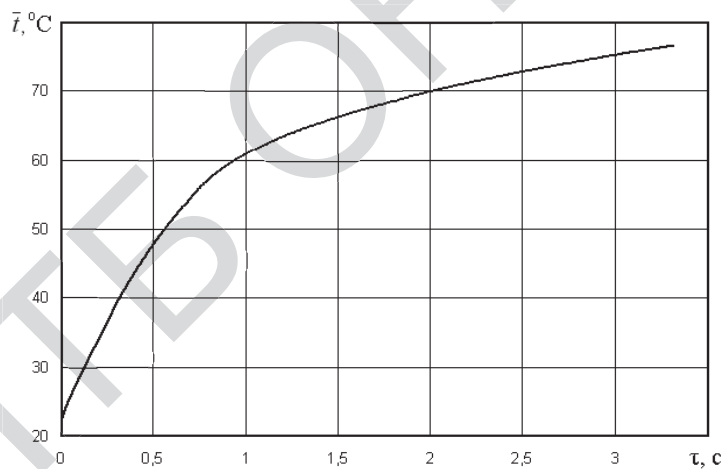


Рисунок 2. Зависимость среднеобъемной температуры капли от времени

Высота колонны должна быть, по крайней мере, не меньше указанной величины z_k^* . На самом же деле она должна быть существенно больше, чтобы процесс гелирования успел завершиться. Следует также иметь в виду, что величина z_k^* рассматривается в системе отсчета, связанной с движущейся формирующей средой. Поэтому, реальное расстояние z^* , отсчитываемое от выходного сечения колонны, необходимо определять, как $z^* = -z_k^* - V_0\tau$, где V_0 – среднеобъемная скорость течения формирующей среды в колонне.

Как видно из рис. 3, при $z_k^* > 0,2$ м температура частицы начинает уже мало отличаться от температуры формирующей среды и теплообмен между ними практически прекращается.

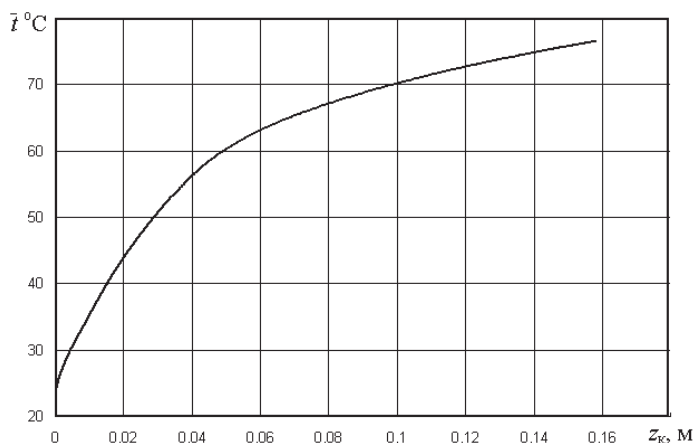


Рисунок 3. Залежність температури капі від відстані, пройденного каплями

Важною проблемою, що виникає при проектуванні грануляційної колонни, є зниження втрат теплоти з її зовнішньої поверхні. При проектуванні системи теплоізоляції колонни необхідно використовувати дані об рівнях вказаних втрат теплоти. Ці дані можуть бути отримані з рішення сопряженої задачі теплопереносу від потоку нагрітої формуючої рідини в колонні до оточуючої повітряної середовища. Задача описується системою рівнянь гідродинаміки та теплопереносу в формуючій середовищі та рівнянням теплопровідності для колонни. Рішення цієї системи рівнянь виконується методом кінцевих різниць.

Розрахунки полів швидкості та температури рідини в грануляційній колонні виконувалися для початкової швидкості рідини $V_0=0,005$ м/с, початкової температури $t_0=92$ °C та температури зовнішнього повітря $t_\infty=20$ °C. Як показали результати розрахунків, температура формуючої середовища за рахунок втрат теплоти в оточуюче простір суттєво знижується біля внутрішньої поверхні колонни. Тік рідини практично всюди опускний, за винятком невеликої області біля стінки колонни біля входу потоку в конічне звуження, де встановлюється циркуляційний тік. В цій же зоні теплоперенос від рідини до стінки колонни інтенсифікується, що призводить до зниження її температури біля стінок до 65 °C.

Для розглянутого режиму течії та теплопереносу сумарні теплові потоки, відводимі від формуючої середовища, складають: тепловий потік, що витрачається на нагрів частинок 20 Вт; втрати теплоти в оточуюче простір 132 Вт. При цьому середньомасова температура рідини на виході з колонни знижується до 80 °C.

Як видно з представлених результатів, відсутність теплоізоляції на зовнішній поверхні грануляційної колонни призводить до значительних втрат теплоти в оточуюче простір, що робить даний процес виробництва гранульованих білоксодержачих продуктів дуже енергозатратним. Одним з очевидних шляхів зниження втрат теплоти є установка теплоізоляції на колонні. Розглянемо для порівняння результати рішення тієї ж задачі, але за умови, що колонна теплоізована. Теплопровідність ізоляційного матеріалу становить $\lambda_{и} = 0,1$ Вт/(м·К), а його товщина дорівнює 4 мм. Як показали результати рішення цієї задачі, при наявності теплоізоляції сумарний потік теплоти в оточуюче простір знижується до 114 Вт (на 15%), а температура масла на виході з колонни зростає до 82 °C.

Порівняння результатів розрахунку розподілу температур та густин теплових потоків по зовнішній теплоотдаючій поверхні колонни, отриманих для двох варіантів її виконання, представлено на рис. 4, 5.

З рисунків видно, що у колонни з теплоізоляцією температура зовнішньої поверхні становить на 5... 12 °C нижче, ніж у колонни без теплоізоляції. Найбільше відхилення температури на поверхнях колонни спостерігається у її горловині ($z=z_{\max}$), через яку в колонну подається розігрітий теплоносій. Якщо в цій області температура колонни без теплоізоляції практично дорівнює температурі формуючої середовища, то у теплоізованої колонни вона виявляється нижче її температури на 12 °C.

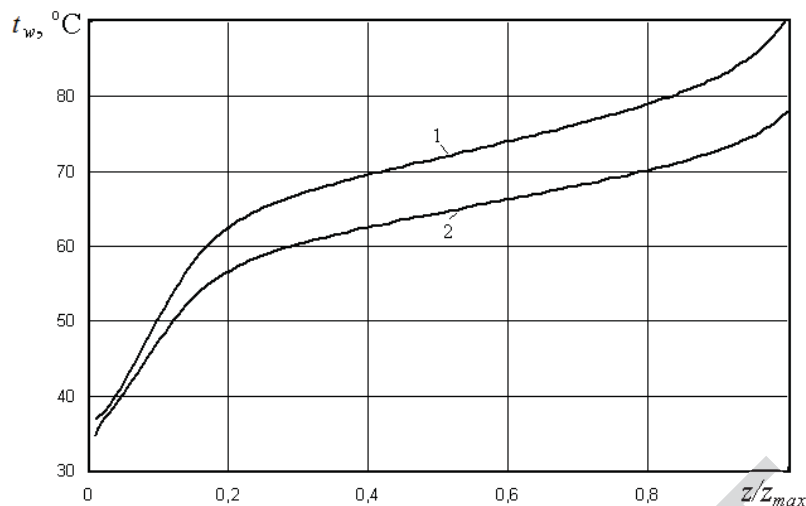


Рисунок 4. Розподілення температури по зовнішній поверхності колонни:
1 – колонна без теплоізоляції; 2 - колонна теплоізолювана

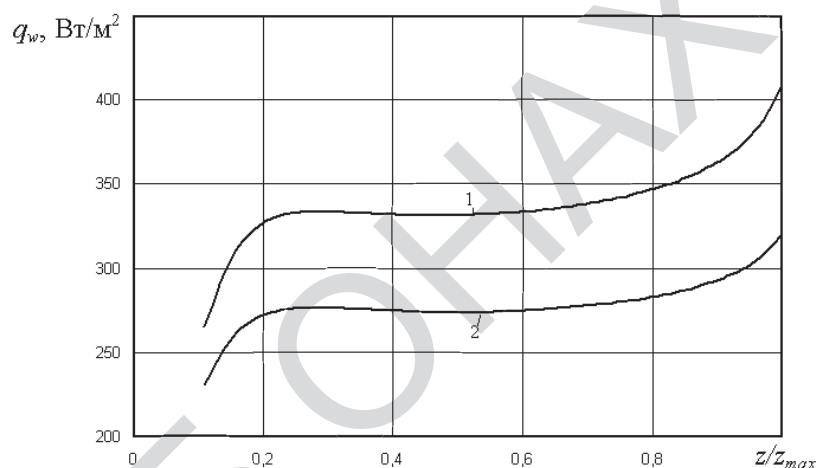


Рисунок 5. Розподілення густин теплового потоку по поверхності колонни:
1 – колонна без теплоізоляції; 2 - колонна теплоізолювана

Висновки.

Як показали результати чисельних досліджень температурного режиму в грануляційній колонні при виробництві імітованих гранульованих харчових продуктів, установка теплоізоляції товщиною 4 мм з коефіцієнтом теплопровідності 0,1 Вт/(м·К) на поверхні грануляційної колонни дозволяє знизити втрати тепла з 132 Вт до 114 Вт (на 15%). Температура формуючої рідини на виході з грануляційної колонни при цьому підвищується з 80 оС до 82 оС. Однак, більш ефективним способом обмеження теплових втрат буде, по-видимому, установка на колонні повітряної рубашки, що в останнє время і практикується при створенні обладнання по виробництву гранульованих харчових продуктів.

Література

1. Кремнев О. А., Кравченко Ю. С. Некоторые особенности вынужденного распада струй жидкости в капиллярном режиме. Доклады АН УССР, сер. А. 1975. 6. С. 524–528.
2. Кравченко Ю.С., Давыденко Б.В. Нестационарный теплообмен сферической капли, движущейся в вязкой среде под действием силы тяжести. Промышленная теплотехника, 24(5). 2002. – Т.24. С. 11 – 16.
3. Кравченко Ю.С., Давыденко Б.В., Тесля А.И. Движение сферической капли в вязкой среде под действием силы тяжести. Промышленная теплотехника, 25(4). 2003. Т.24. С. 20 – 25.

BIOTECHNOLOGY	
Nisha Kesari	100
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВИПАРОВУВАННЯ І СУШІННЯ ОДИНИЧНИХ КРАПЕЛЬ БАКТЕРІАЛЬНОГО ПРЕПАРАТУ «ФГ-5»	
Переяславцева О.О.	102

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

ПЕКТИНОВМІСНИЙ ПРОДУКТ У ВИГЛЯДІ ЧИПСІВ	
Шапар Р.О., Гусарова О.В.	108
ДОСВІД СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКТІВ З ГІДРОЛІЗОВАНИМ БІЛКОМ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ	
Авдєєва Л.Ю., Декуша Г.В., Жукотський Е.К.	113
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА СОНЯШНИКУ У ВІБРОСУШАРЦІ НА ОСНОВІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОПРОМІНЕННЯ	
Бандура В.М., Ярошенко Л.В.	116
ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ ГІДРАТАЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЇ	
Осадчук П. І.	123
РОЗРОБКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ З ФІТОЕСТРОГЕННОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	
Петрова Ж.О., Слободянюк К.С.	129
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ХЛАДОНОВЫХ ЭКСТРАКТОВ ЛАВРОВОГО ЛИСТА	
Потапов В.А., Евлаш В.В., Белый Д.В.	136
РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ОЛІЙНО-ЖИРОВОЇ ГАЛУЗІ	
Скляр В. Ю., Крусір Г. В., Коваленко І. В., Кузнєцова І. О.	139
ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ МОНОГРАНУЛІРОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИМИТИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	
Басок Б.И., Давыденко Б.В., Тимошенко А.В.	145
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРУЮЧОЇ ДОБАВКИ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ ГРИБНОЇ СУСПЕНЗІЇ	
Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О.	149
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЦУКАТІВ З ГАРБУЗА	
Атаманюк В.М., Гузьова І.О.	152
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВНУТРІШНЬОДИFUЗИЙНОГО МАСОПЕРЕНОСЕННЯ ТА НАСИЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО АГЕНТУ ВОЛОГОЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ	
Кіндзера Д.П., Госовський Р.Р., Атаманюк В.М.	153
ВЫПЕЧКА РЖАНО-ПШЕНИЧНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПАРОКОНВЕКЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ	
Кирик И.М., Кирик А.В., Гуринова Т.А.	160
ІННОВАЦІЙНІ ТА ЕФЕКТИВНІ СОНЯЧНІ СУШАРКИ ДЛЯ ЦІЛДОБОВОЇ СУШКИ	
Мусій Р.Й., Заборовський А.Б., Желєзко О.П.	161
ІННОВАЦІЙНІ СОНЯЧНІ СУШАРКИ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОВИХ ПОВІТРЯНИХ КОЛЕКТОРІВ	
Мусій Р.Й., Заборовський А.Б., Желєзко О.П.	162

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ ВОДНИХ РІШЕНЬ У ВАКУУМНОМУ ТА МІКРОВОГО ОБЛАСТІ	
Бурдо О.Г., Гарвилов О.В., Мординський В.П., Сиротюк І.В., Серєда О.О.	167
РОЗРОБКА КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	
Соколова В. І., Крусір Г. В., Шпирко Т. В., Кузнєцова І. О., Коваленко І. В.	172
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ АДСОРБЕНТІВ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ	
Беляновська О.А., Литовченко Р.Д., Сухий К.М., Прокопенко О.М., Еремін О.О., Суха І.В.	179