УДК 531.3:621.3.017.7

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РУХУ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ ЗМІШАНИМ ТЕПЛОПІДВОДОМ

М. І. Погожих
Доктор технічних наук, професор,
завідуючий кафедри*
E-mail: drpogozhikh@mail.ru
А. О. Пак
Кандидат технічних наук, доцент*
E-mail: pak_andr@mail.ru
А. В. Пак
Кандидат технічних наук, викладач
Кафедра товарознавства та
експертизи якості товарів
Харківський торговельно-економічний інститут
Київського національного
торговельно-економічного університету
пров. Отакара Яроша, 8, м. Харків, Україна, 02156
E-mail: pak_alya@mail.ru
М. В. Жеребкін
Кандидат технічних наук, асистент**
E-mail: Zherebkin.maxim@gmail.com
*Кафедра енергетики та фізики***
**Кафедра холодильної та торговельної техніки
Харківський державний університет
харчування та торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

Розроблено та створено установку для дослідження впливу параметрів руху сушильного агента на кінетику температури вологої сировини під час сушіння змішаним теплопідводом. Отримані залежності тривалості сушіння та моментів часу, за яких має місце локальний мінімум термограми, від кута обдуву масообмінного зазору. Досліджено вплив кута обдуву на кінетику температури та тривалість зневоднення сировини. Визначено раціональні значення кута обдуву масообмінного зазору

Ключові слова: сушіння змішаним теплопідводом, функціональна ємність, кінетика температури, турбулентні збурювання, обдув

Разработана и создана установка для исследования влияния параметров движения сушильного агента на кинетику температуры влажного сырья при сушке смешанным теплоподводом. Получены зависимости продолжительности сушки и моментов времени, при которых имеет место локальный минимум термограммы, от угла обдува массообменного зазора. Исследовано влияние угла обдува массообменного зазора на кинетику температуры и продолжительность обезвоживания сырья. Определены рациональные значения угла обдува массообменного зазора

Ключевые слова: сушка смешанным теплоподводом, функциональная емкость, кинетика температуры, турбулентные возмущения, обдув

1. Вступ

Раціональне використання сільськогосподарської продукції, її енергоефективна переробка у харчові продукти з максимально можливим збереженням цінних для людини речовин – одне з основних завдань харчової промисловості України. Роботу присвячено удосконаленню одного із найдавніших і найефективніших способів консервування – сушінню [1–4]. Але сушіння є одним із найбільш енергоємних процесів, тому розробка наукових основ ефективного керування процесом зневоднення, формування функціонально-технологічних властивостей сушеної продукції тваринного та рослинного походження і створення нових прогресивних технологій харчових продуктів з її використанням є актуальною проблемою [5–9].

2. Постановка проблеми

Одним із перспективних способів сушіння з точки зору збільшення інтенсивності процесу зневоднення, зменшення питомих енерговитрат на одиницю сушеної продукції та збереження якості вихідної сировини є сушіння способом змішаного теплопідводу (ЗТП-сушіння).

ЗТП-сушіння засноване на створенні умов для активної гідродинамічної та теплової взаємодії агента сушіння з об'єктом сушіння. При цьому на відміну від традиційного конвективного сушіння, теплоносій (джерело теплоти) не має безпосереднього контакту із поверхнею, що віддає вологу, і передає теплоту об'єкту через тверду газонепроникну стінку функціональної ємності (ФЄ) будь-яким

© М. І. Погожих, А. О. Пак, А. В. Пак, М. В. Жеребкін, 2014

способом (конвекційним, кондуктивним, радіаційним).

Як показали дослідження, виконані авторами [10–13], ЗТП-сушіння є складним технологічним і фізичним процесом. «Запуск» ЗТП-сушіння можливий за виконання визначених необхідних умов, а керувати характером процесу зневоднення можливо умовно виділеними зовнішніми та внутрішніми чинниками ЗТП-сушіння. Причому варіювання зовнішніми та внутрішніми чинниками надає можливість керувати питомими енерговитратами на процес зневоднення, інтенсивністю тепломасообміну та якістю отримуваної продукції.

3. Літературний огляд та мета дослідження

Одним із основних зовнішніх чинників процесу ЗТП-сушіння є розподіл швидкості сушильного агента.

Зазвичай, у стандартних ЗТП-сушарках використовуються ФЄ, що мають форму паралелепіпеда (рис. 1) [10–13]. Характерними розмірами таких ФЄ є l_1, l_2, l_3, причому, по-перше, l_1 та l_2 принаймні на порядок більші ніж l_3, а, по-друге, ФЄ розміщується площиною $l_1 \times l_2$ паралельно руху сушильного агента. Також необхідно відмітити, що ширина теплообмінної поверхні l_4 принаймні на порядок більша, ніж ширина масообмінного зазору l_5.

Для ЗТП-сушіння, як і для конвективного сушіння, вважається, що швидкість сушильного агента поблизу газонепроникної стінки (теплообмінна поверхня) ФЄ прагне до нуля. При цьому динамічний тиск потоку мінімальний, а статичний – максимальний.

Розрив поверхні ФЄ (масообмінний зазор) вносить істотне локальне збурювання в характер розподілу тисків. Такі збурювання мають стохастичний нестійкий характер [10]: утворюються завихрення потоку з нестійким часом життя.

Під час сушіння в таких ФЄ було виявлено, що в центральній частині ФЄ знаходиться критична область, де відбувається відхилення умов для «запуску» та протікання процесу масообміну. Це обумовлено тим, що в центральній області ФЄ гідродинамічні умови для обтікання сушильним агентом поверхні суттєво відрізняються від аналогічних з боку торців ємності, де динамічний тиск потоку максимальний, а статичний – мінімальний. Щоб вирівняти розподіл між статичним та динамічним тисками вздовж всієї тепломасообмінної поверхні використовуються вставки-турбулізатори, які розміщуються між площиною ФЄ та стінкою сушильної камери.

Вставки-турбулізатори приводять до зміни кута обдуву локальних частин стінки ФЄ, що сприяє більш рівномірному розподіленню турбулентних збурювань вздовж ФЄ.

Турбулентність, як відомо із класичного визначення [14] – це трьохмірний нестаціонарний рух, в якому внаслідок розтягання вихорів створюється неперервний розподіл пульсацій швидкості в інтервалі довжин хвиль від мінімальних, що визначаються в'язкими силами, до максимальних, що визначаються граничними умовами плину.

Внаслідок існування нелінійної залежності між швидкістю руху речовини та потоком кількості руху, що міститься в системі рівнянь для опису турбулентних збурювань, а також наявності в даних рівняннях напружень Рейнольдса, не існує можливості теоретичного вирішення повної системи рівнянь Нав'є-Стокса для такого нестаціонарного плину. Таким чином, для якісного уявлення про турбулентні збурювання та отримання кількісної інформації, необхідної для технічних розрахунків, слід використовувати експериментальні дослідження.

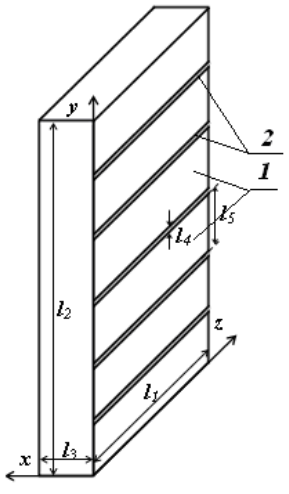

Рис. 1. ФЄ, що має форму паралелепіпеду з характерними розмірами l_1, l_2, l_3 та шириною теплообмінних (1) поверхонь – l_4 і масообмінних (2) зазорів – l_5

Метою роботи є отримання вимог до функціональних особливостей турбулізаторів шляхом експериментального дослідження кінетики температури та тривалості процесу зневоднення вологої сировини в залежності від кута обдуву сушильним агентом масообмінних зазорів.

4. Дослідження впливу кута обдуву масообмінного зазору сушильним агентом на кінетику температури та тривалість сушіння

4. 1. Експериментальна установка та умови проведення експерименту

Для досягнення поставленої мети була створена установка, представлена на рис. 2.

Установка складається із паралелепіпедної ФЄ, виконаної із газонепроникного матеріалу з високим коефіцієнтом теплопровідності; трубок з отворами, в які компресором нагнітається повітря; нагрівачів, що розміщені на верхній та нижній площині ФЄ.

Дослідження проводяться наступним чином. Одночасно вмикається джерело живлення нагрівачів та компресор. Повітря від компресорів подається через трубки до ФЄ. По довжині трубок зроблені отвори малого діаметру. Трубки розміщують таким чином, щоб отвори знаходились навпроти масообмінних зазорів ФЄ. Існує можливість змінювати напрямок обдування масообмінних зазорів сушильним агентом, шляхом їх повертання в тримачах.

В досліджуваній вологій сировині, що знаходиться всередині ФЄ, розміщені п'ять термопар, які дозволяють вимірювати її температуру під час сушіння.

ФЄ з вологою сировиною розміщують на ваги та безперервно фіксують їх масу під час дослідження. Як досліджувана сировина використовувалось модельне капілярно-пористе тіло.

Дослідження проводились для швидкості руху сушильного агенту 10 м/с. Кут обдуву масообмінного зазору (α) змінювався від 0° до 60°. Під кутом обдуву мається на увазі кут між віссю 0x (рис. 1) та напрямом руху сушильного агента, як це показано на рис. 3.

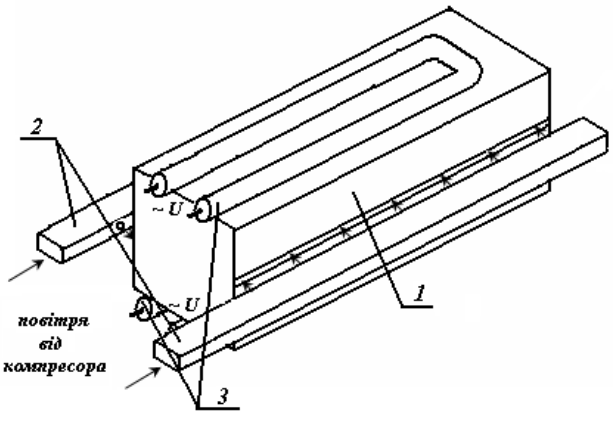

Рис. 2. Установка для дослідження впливу руху сушильного агента на кінетику температури під час ЗТП-сушіння: 1 — ФЄ; 2 — трубки з отворами; 3 — нагрівачі

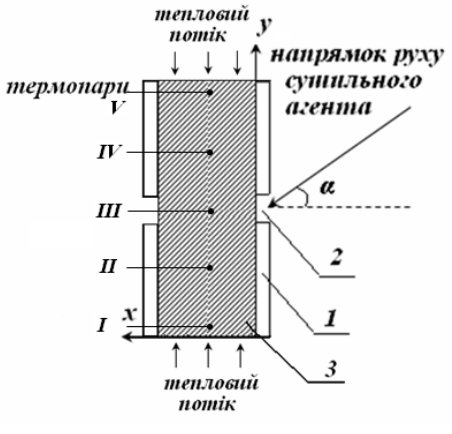

Рис. 3. Схема розміщення термопар і напрямок руху сушильного агента по відношенню до масообмінної (2) та теплообмінної (1) поверхонь ФЄ з вологою сировиною (3)

4. 2. Отримання та аналіз кінетики температур сировини за різних кутів обдуву масообмінного зазору

Кінетики температур сировини за різних кутів обдуву масообмінного зазору сушильним агентом мають типовий для ЗТП-процесу характер. На рис. 4 наведено кінетику температури для кута обдуву α=0°.

Представлені експериментальні дані пронормовані на максимальне значення температури та тривалості процесу з метою більш наочного аналізу залежностей. З рисунку видно, що кінетика температури має два локальних екстремуми – максимум та мінімум, обумовлені особливостями протікання ЗТП-процесу.

Необхідно відмітити, по мірі наближення до середини ФЄ, різниця температур між локальним максимумом та локальним мінімумом збільшується, що є характерною особливістю лише ЗТП-сушіння. При цьому локальний максимум температури свідчить про «запуск» ЗТП-процесу, а локальний мінімум відповідає максимальні швидкості сушіння.

Термограми за інших кутів обдуву, як відмічено вище, мають той же характер. Відрізняються вони тривалістю процесу досягнення кінцевого вологовмісту та різним положенням локальних максимумів та мінімумів відносно осі, на якій відкладено час.

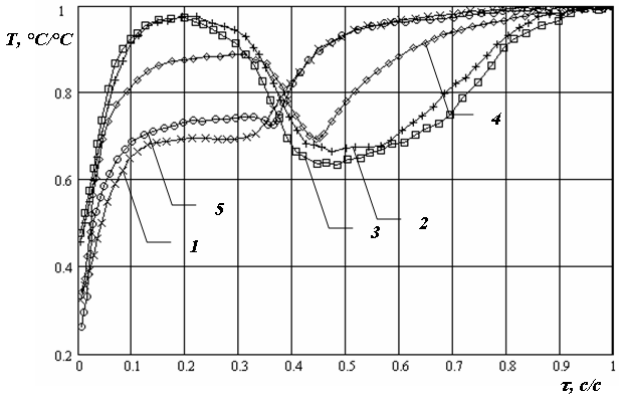

Рис. 4. Кінетики температури отримані під час ЗТП-сушіння модельного капілярно-пористого тіла від термопар: 1 — I; 2 — II; 3 — III; 4 — IV; 5 — V

На рис. 5, 6 наведено залежності тривалості сушіння (по осі ординат відкладено тривалість зневоднення, по осі абсцис – кут обдуву) та моментів часу, за яких має місце локальний мінімум термограми, (по осі ординат відкладено час досягнення термограмою локального мінімуму, по осі абсцис – кут обдуву) від кута обдуву масообмінного зазору сушильним агентом.

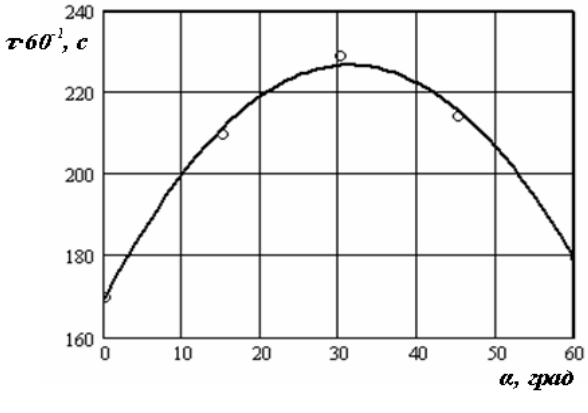

Рис. 5. Залежність тривалості сушіння від кута обдуву масообмінного зазору сушильним агентом

Наведені залежності мають екстремуми, які свідчать про те, що для кутів обдуву масообмінного зазору із діапазону від 25° до 35° тривалість процесу зневоднення найдовша, а також час досягнення термограмою локального мінімуму і, відповідно, максимуму швидкості сушіння – найпізніший. При

збільшенні та при зменшенні кута обдуву відносно даного діапазону відбувається зменшення тривалості сушіння і максимум швидкості зневоднення досягається раніше. При цьому найменша тривалість ЗТП-процесу спостерігається для випадку, коли потік сушильного агента перпендикулярний до стінки ФЄ з масообмінними зазорами. Раціональними із досліджуваних з точки зору тривалості сушіння слід вважати кути обдуву масообмінного зазору сушильним агентом 0°та 60°.

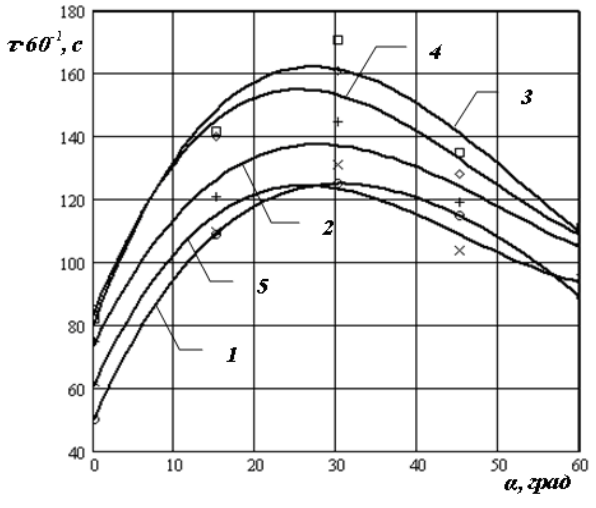

Рис. 6. Залежність моменту часу, за якого має місце локальний мінімум термограми, від кута обдуву масообмінного зазору сушильним агентом для різних термопар: 1 — I; 2 — II; 3 — III; 4 — IV; 5 — V

Причиною такої залежності є те, що серед досліджуваних кутів обдуву, кути обдуву 0° та 60° (під час проведення досліджень через технічні ускладнення змінювати кут обдуву масообмінного зазору до 90° не існувало можливості) є такими, за яких створюються найбільш сприятливі умови для виникнення турбулентних збурювань [14, 15].

Умови для утворення турбулентних збурювань під час руху сушильного агента під кутом обдуву масообмінного зазору 0° аналогічний умовам створюваним під час руху речовини у трубі прямокутного перерізу, коли взаємодіючі поля дотичних напружень спрямовані відносно один одного під кутом 90°. Випадок руху сушильного агента під кутом обдуву масообмінного зазору 60° аналогічний випадку обтікання плоскої поверхні з геометричними неоднорідностями, коли нормальні напруження сумірні з дотичними. Відповідно, умови для утворення турбулентного руху сушильного агента під час обдуву масообмінного зазору під іншими досліджуваними кутами займають проміжне положення, в результаті чого розподілення турбулентних збурювань має меншу рівномірність.

Виходячи з отриманих результатів, вимогами до такої конструкційної особливості ЗТП-сушарок, як вставки-турбулізатори, є те, що вони повинні мати таку форму та розміщуватись відносно ФЄ таким чином, щоб створювати кут обдуву масообмінних зазорів близьким до 0° або до 60°.

5. Висновки

Розроблено та створено установку для дослідження параметрів руху сушильного агента на кінетику температури та кінетику вологовмісту сировини під час ЗТП-сушіння.

Дослідженнями кінетики температури та кінетики вологовмісту сировини за різних кутів обдуву сушильним агентом масообмінних зазорів із діапазону від 0° до 90°, встановлено, що кінетики температур сировини за досліджуваних кутів обдуву мають типовий для ЗТП-процесу характер.

Встановлено, що тривалість процесу зневоднення найдовша для кутів обдуву від 25° до 35°, час досягнення термограмою локального мінімуму і, відповідно, максимуму швидкості сушіння для даного діапазону – найпізніший. Встановлено, при збільшенні та при зменшенні кута обдуву відносно даного діапазону відбувається зменшення тривалості сушіння і максимум швидкості зневоднення досягається раніше.

Відмічено, що вставки-турбулізатори, які є конструкційними особливостями ЗТП-сушарок, повинні забезпечувати обдув масообмінних зазорів ФЄ сушильним агентом під кутами близькими до раціональних, якими є кути 0° та 60°.

Література

1. Hooshmand, S. Viewpoint: Dried plum, an emerging functional food that my effectively improve bone health [Text] / S. Hooshmand, H. Arjmandi // Ageing Res Reviews. – 2009. – № 8. – P. 122–127.
2. Hui, Yh. Handbook of fruits and fruit processing [Text] / Yh. Hui. – Blackwell Publishing, Oxford UK, 2006. – 81 p.
3. Vinson, JA. Dried fruits: excellent in vivo and in vitro antioxidants [Text] / JA. Vinson, L. Zubic, P. Bose // J Amer Coll Nutr. – 2005. – № 24. – P. 44–50.
4. Scanlin, D. The Design, Construction and Use of an Indirect, Through-Pass, Solar Food Dryer [Text] / D. Scanlin // Home Power magazine. – 1997. – Issue No.57. – P. 62–72.
5. Wilson, T. Glycemic Responses to Sweetened Dried and Raw Cranberries in Humans with Type 2 Diabetes [Text] / T. Wilson, E. F. Luebke, M. C. Carrell, L. K. Leveranz, T. P. Schmidt, P. J. Limburg, N. Vorsa, A. P. Singh // Journal of Food Science. – 2010. – Vol. 75 (8). – P. 218-223.
6. DeLong, D. Cherries: How to dry foods [Text] / DeLong, D. – HPBooks – 1992. – 29 p.
7. Barrett, D.M. Dehydrated cherries [Text] / D. M. Barrett, L. P. Somogyi, H. S. Ramaswamy // Processing Fruits: Science and Technology, CRC Press. – 2004. – P. 506–507.

8. Yu, L. Moisture sorption characteristics of freeze-dried, osmofreeze-dried, and osmo-air-dried cherries and blueberries [Text] / L. Yu, G. Mazza, D. S. Jayas // Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. – 1999. – 42 (1). – P. 141–147.
9. Esmaiili, M. Grape Drying: A Review [Text] / M. Esmaiili, R. Sotudeh-Gharebagh, K. Cronin, M. A. E. Mousavi, G. Rezazadeh // Food Reviews International. – 2007. – 23 (3). – 257 p.
10. Погожих, Н. И. Научные основы теории и техники сушки пищевого сырья в массообменных модулях [Текст] : дис. ...д-ра техн. наук / Н. И. Погожих. – Харьков : ХДАТОХ, 2002. – 331 с.
11. Цуркан, Н. М. Разработка рациональных режимов производства сушеного быстровосстанавливаемого картофеля [Текст]: дис. ...канд. техн. наук / Н. М. Цуркан. – Харьков : ХДАТОХ., 2000. – 156 с.
12. Пак, А. О. Розробка процесу сушіння плодово-ягідної сировини змішаним теплопідводом зі штучним пороутворенням [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А. О. Пак. – Харків: ХДУХТ, 2008. – 153 с.
13. Жеребкін, М.В. Розробка процесу гідротермічної обробки круп з використанням принципів сушіння змішаним теплопідводом [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / М. В. Жеребкін. – Харків: ХДУХТ, 2013. – 151 с.
14. Брэдшоу, П. Введение в турбулентность и ее измерение [Текст] / П. Брэдшоу. – М. : «Мир», 1974. – 278 с.
15. Rockwell, D. (1998). Vortex-body interactions [Text] / D. Rockwell. – Ann. Rev. Fluid Mech. – 30. – P. 199–229.

У статті наведено результати досліджень, спрямованих на розробку математичної моделі процесу протеолізу рибної колагеновмісної сировини та обґрунтування доцільності і перспективності використання ферментних препаратів. Визначено значущі технологічні параметри процесу протеолізу рибної колагеновмісної сировини, зокрема температури, тривалості протеолізу, значення pH та концентрації протеолітичних ферментних препаратів

Ключові слова: рибна колагеновмісна сировина, протеоліз, білкова добавка, колагеназа, бромелін, математичне моделювання

В статье приведены результаты исследований, направленных на разработку математической модели процесса протеолиза рыбного коллагенсодержащего сырья, а также обоснование целесообразности и перспективности использования ферментных препаратов процесса протеолиза рыбного коллагенсодержащего сырья, в том числе температуры, продолжительности протеолиза, значения pH и концентрации протеолитических ферментных препаратов

Ключевые слова: рыбное коллагенсодержащее сырье, протеолиз, белковая добавка, коллагеназа, бромелин, математическое моделирование

УДК 664.38:639.38

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОТЕОЛІЗУ РИБНОЇ КОЛАГЕНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

Н. В. Дуденко
Доктор медичних наук, професор*
Email: kaf_gigpit@mail.ru
О. Г. Дьяков
Кандидат технічних наук, доцент**
Б. О. Панікарова
Асистент
Email: panikarovadana@gmail.com
*Кафедра гігієни харчування та мікробіології***
Кафедра енергетики та фізики*
***Харківський державний університет харчування та торгівлі
вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

1. Вступ

Риба і рибопродукти є стратегічно важливими продуктами харчування. Вони посідають вагоме місце в біологічно повноцінному білковому раціоні населення, який сприяє покращенню здоров'я та збільшенню тривалості життя. Риба містить незамінні амінокислоти, незамінні жирні кислоти, жиророзчинні вітаміни, мікро- та макроелементи у сприятливих для організму людини співвідношеннях.

Сучасний стан рибопереробної галузі обумовлений реалізацією новітніх технологій, спрямованих на отримання напіфабрикатів високого ступеню готовності, зокрема, рибного філе та порційованих н/ф риби. Як наслідок, при переробці рибної сировини накопичується 30...50 % відходів від загальної маси, які використовуються для виробництва кормового борошна. Відходи рибопереробної промисловості являють собою рибну колагеновмісну сировину (РКС), яка є цінним джерелом рибного білка. У зв'язку з цим виникає потреба розробки технологій, які дозволять модифікувати рибну колагеновмісну сировину і повернути її у технологію виробництва рибних виробів.

© Н. В. Дуденко, О. Г. Дьяков, Б. О. Панікарова, 2014