

Секція 2. ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 641.539.002.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ І КІНЕТИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ПІД ЧАС ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОЇ ОБРОБКИ НАПІВФАБРИКАТІВ

**В.М. Михайлов, А.О. Шевченко, І.В. Бабкіна,
С.В. Прасол, І.Г. Бабанов**

Досліджено електричні показники та кінетику температури під час електроконтактної обробки напівфабрикатів. Установлено, що кінетика сили струму під час електроконтактної теплової обробки зразків, однакових за об'ємом і різних за складом, не однакова. Швидкість нагрівання залежить від складу зразка та його об'єму. Для інтенсифікації нагрівання необхідно регулювати електричні показники, тоді процес електроконтактного нагрівання може стати базовим для розробки комбінованих способів теплової обробки.

Ключові слова: електроконтактне нагрівання, електричні показники, кінетика, напівфабрикат, тепла обробка.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КИНЕТИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ

**В.М. Михайлов, А.А. Шевченко, И.В. Бабкина,
С.В. Прасол, И.Г. Бабанов**

Исследованы электрические показатели и кинетика температуры при электроконтактной обработке полуфабрикатов. Установлено, что кинетика силы тока при электроконтактной тепловой обработке образцов, одинаковых по объему и различных по составу, не одинакова. Скорость нагрева зависит от состава образца и его объема. Для интенсификации нагрева необходимо регулировать электрические показатели, тогда процесс электроконтактного нагрева может стать базовым для разработки комбинированных способов тепловой обработки.

Ключевые слова: электроконтактный нагрев, электрические показатели, кинетика, полуфабрикат, тепловая обработка.

INVESTIGATION OF ELECTRICAL INDICATORS AND KINETICS OF TEMPERATURE DURING ELECTRO- CONTACT PROCESSING OF SEMI-FINISHED PRODUCTS

V. Mikhaylov, A. Shevchenko, I. Babkina, S. Prasol, I. Babanov

Analysis of the processes of heat treatment of semi-finished products has found that the main drawbacks of processes and apparatuses are significant duration and unevenness of the temperature field by volume of the product, high-energy intensity and labor intensity, low efficiency, significant loss of mass and nutrients. In this regard, the idea of combining superficial heating methods with electrical contact heating (ECH), which would intensify the process and provide even heating of certain layers by volume of the product, was proposed. The main precondition for this is the purposeful regulation of heating of the central layers of the semi-finished product by means of ECH, which will enable the internal volume to be warmed up to the cooking temperature during the time which does not exceed duration of the crust formation on the surface. In such case, an important factor is the influence of electrical parameters (current, voltage, energy consumption) on the heating process and influence of the component composition of semi-finished products on the temperature kinetics.

Substantiation of the use of ECH and its features is as follows. Thus, in the case of contact with electric current, electric energy is converted into heat directly in the semi-finished product, which allows to use it effectively primarily for thermal processes. At the same time, ECH does not allow to heat the surface of the product above 100°C and, accordingly, it is impossible to obtain a roasted crust only at the expense of ECH. Consequently, manufacture of products with the use of ECH can be effective, but it requires combined treatment with application of IR heating, for example.

The aim of the research is to determine electrical parameters and temperature kinetics in the electrical contact processing of semi-finished products.

Electrical parameters and temperature kinetics during electrical contact processing of semi-finished products are investigated. It was found that kinetics of current strength during electrical contact heat treatment of samples with the same volume but with different composition is not the same. The speed of heating depends on the composition of the sample and its volume. To intensify heating, it is necessary to regulate electrical parameters, and then the ECH process can become the basis for the development of the combined methods of heat treatment.

Keywords: *electrical contact heating, electrical indicators, kinetics, semi-finished products, heat treatment.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз процесів теплової обробки напівфабрикатів установив, що основними недоліками відповідних процесів та апаратів є значна тривалість і нерівномірність температурного поля за об'ємом виробу, висока енергоємність і трудомісткість, низький ККД, суттєві втрати маси та

поживних речовин. У зв'язку з цим було висунуто ідею комбінування поверхневих методів нагрівання з електроконтактним (ЕКН), що дозволить інтенсифікувати процес і забезпечити рівномірне нагрівання окремих шарів за об'ємом виробу. Основною передумовою для цього є цілеспрямоване регулювання нагрівання центральних шарів напівфабрикату шляхом застосування ЕКН, що дасть можливість забезпечити прогрівання внутрішнього об'єму до температури кулінарної готовності протягом часу, який не перевищує тривалості формування скоринки на поверхні. Важливим при цьому є вплив електричних показників (сила струму, напруга, енерговитрати) на процес нагрівання та компонентного складу напівфабрикатів на кінетику температури, результати досліджень яких наведено в статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом у харчову технологію широко впроваджуються електрофізичні способи обробки харчових продуктів, серед яких найбільш простим за апаратним оформленням та ефективністю є метод електроконтактного нагрівання (ЕКН), що може бути застосований як базовий під час розробки прогресивних комбінованих процесів теплової обробки [1]. Обґрунтування застосування ЕКН та його особливості полягають у наступному. Так, під час контактного впливу електричним струмом електрична енергія перетворюється в теплову безпосередньо в напівфабрикаті, що дозволяє ефективно її використовувати в першу чергу для проведення теплових процесів [2]. У той же час ЕКН не дозволяє нагріти поверхню виробу вище 100 °С, і відповідно отримати підсмажену скоринку лише за рахунок ЕКН є неможливим. Отже, виробництво продукції із застосуванням ЕКН може бути ефективним, але при цьому потребує комбінованої обробки із застосуванням, наприклад ІЧ-нагрівання. Більшість досліджень ЕКН проводилися до середини 80-х рр. минулого сторіччя на високовольтній апаратурі, що може бути небезпечним для користувачів. Дослідження ж при безпечних для людини напругах та струмах є недостатніми, тому актуальні на сьогодні [2–4].

Метою статті є дослідження електричних показників і кінетики температури під час електроконтактної обробки напівфабрикатів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення досліджень було розроблено експериментальну установку (рис. 1), яка складається з діелектричної ємності 13, уставленої в теплоізолятор 9, на днищі якої розташовано електрод 11. Інший електрод 10 прикріплено до стрижня 12, уставленого в кришці 3 через фіксатор 6, за допомогою якого регулюється висота верхнього електрода 10 відносно нижнього 11. Кришки 3 і 7 закривають ємність 13 через

гумову прокладку 5 за допомогою гвинтового з'єднання 8. Електроди 10 і 11 приєднані до джерела живлення 14 через перемикач полярності 1, що дозволяє змінювати напрямок струму, який проходить через продукт. Для визначення температурних змін до установки входить самописний потенціометр 4 із датчиком температури. Для переключення напруги та сили струму на потрібне значення передбачено регулятор. Їх величину можна виміряти за показаннями вольтметра та амперметра.

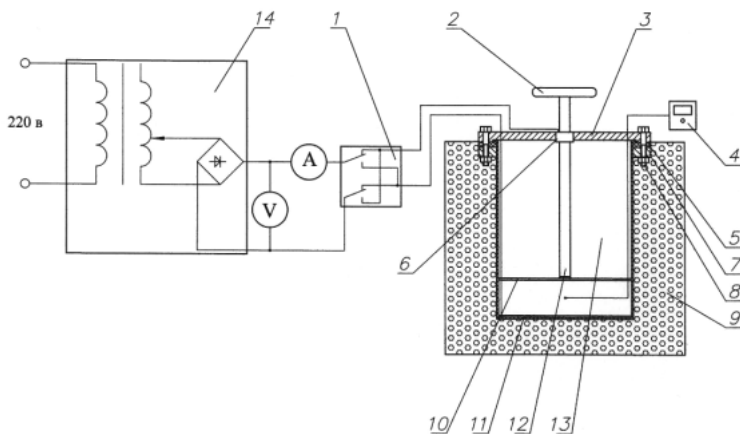


Рис. 1. Схема експериментальної установки дослідження кінетики температури та електрофізичних показників: 1 – перемикач полярності; 2 – ручка; 3, 7 – кришки; 4 – самописний потенціометр; 5 – прокладка; 6 – фіксатор; 8 – гвинтове з'єднання; 9 – теплоізоляція; 10, 11 – електроди; 12 – сгрижень; 13 – діелектрична ємність; 14 – силовий випрямляч

Для проведення досліджень використовували стандартні методики. Замірювання температури у процесі нагрівання здійснювали послідовно з інтервалами часу 15 с. Контроль за часом обробки здійснювали за допомогою секундоміра. Кулінарну готовність виробів визначали за досягнення температури всередині зразків 85...90 °С.

На рис. 2 показано кінетику температури та сили струму під час ЕКН за напруги 15 В. Дослідження проводилися на модельних зразках: подрібнене м'ясо яловичини без добавок (зразок 1); подрібнене м'ясо яловичини з додаванням води (зразок 2) та м'ясний фарш, виготовлений за стандартною рецептурою (№ 654 «Біфштекс січений») (зразок 3). Із наведеного графіка бачимо, що криві зміни сили струму зразків 1 та 2 аналогічні за своїм характером – сила

струму має максимальне значення на початку процесу обробки (2 А), із підвищенням температури в центрі зразків вона знижується до 1 А (температура продукту 25, 35 °С, відповідно) і залишається постійною до досягнення температури у центрі зразків 65 °С, після чого знову зменшується (до 0,5 А). Характер кривої сили струму для фаршу (зразок 3) зовсім інший. На початку теплової обробки сила струму має мінімальне значення (3,7 А), потім вона підвищується до максимального значення 6,6 А (температура в центрі зразка складає 65 °С), після чого повільно знижується майже до початкового значення (3,9 А).

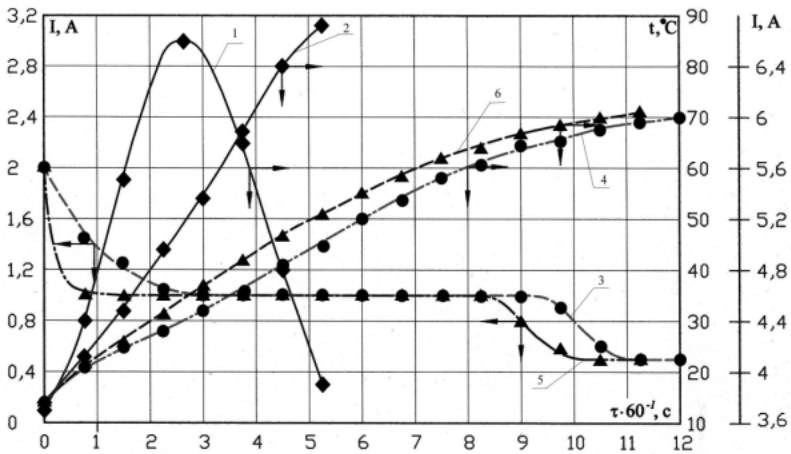


Рис. 2. Кінетика температури та сили струму за електроконтактного нагрівання зразків напругою 15 В: 1, 3, 5 – криві зміни сили струму; 2, 4, 6 – криві зміни температури: —▲— – зразок 1; —●— – зразок 2; —◆— – зразок 3

Тривалість обробки зразка 1 менша на 6% порівняно зі зразком 2. Зразок 3 досягає кулінарної готовності за 315 с, що на 56% менше порівняно з 1-м і 2-м, для яких тривалість обробки становить 675 с та 720 с відповідно. Імовірно, це пояснюється тим, що до складу фаршу входить сіль. За умов її додавання збільшується кількість вільних іонів, наявність яких сприяє підвищенню електропровідності продукту. Це підтверджується залежністю сили струму від часу. Вона має значно більші значення для фаршу, приготовленого за рецептурою.

Наступна група експериментів полягала у визначенні впливу товщини зразка на тривалість обробки. На рис. 3 та 4 наведено відповідно кінетику температури й сили струму з постійною напругою та напруги з постійною силою струму.

Дослідження проводилися на таких модельних зразках: товщиною 20 мм (зразок 1), 15 мм (зразок 2) та 10 мм (зразок 3). Із залежностей температури (рис. 3) слідує, що тривалість доведення фаршу до кулінарної готовності залежить від об'єму зразка. У зразка 2 вона на 31% менша, ніж у 1-го, а в 3-го – на 69%, тобто чим більший об'єм, тим більша тривалість обробки.

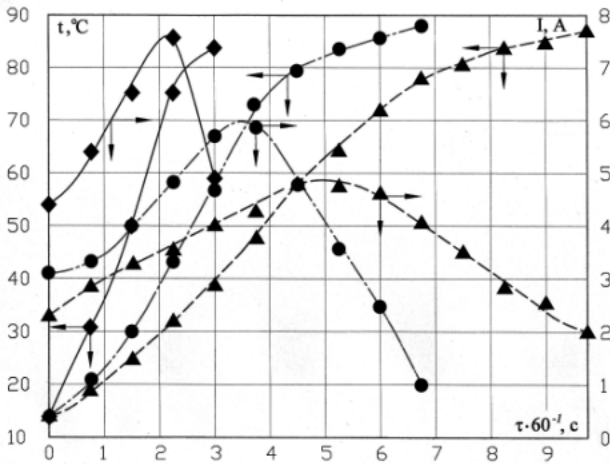


Рис. 3. Кінетика температури та сили струму під час електроконтактного нагрівання м'ясного фаршу напругою 15 В:
 —▲— — зразок 1; —●— — зразок 2; —◆— — зразок 3

За результатами всіх експериментів, що полягали в простеженні динаміки сили струму бачимо, що її значення в процесі обробки значно змінюються. Протягом певного періоду часу від початку обробки (зразок 1 – до 270–300 с; зразок 2 – до 180–210 с; зразок 3 – до 110–120 с) характер зміни сили струму є зростаючим. За умови досягнення температури зразка ~ 65 °C вона має максимальне значення, а потім стрімко зменшується до свого мінімального. Це, мабуть, пояснюється змінами електропровідних властивостей, що відбуваються під час денатурації білків м'яса.

У подальших експериментах підтримували постійне значення сили струму (4 А) на подібних за складом та різних за об'ємом зразках

(рис. 4). Результати експерименту свідчать про можливість обробки з указаною силою струму, але, як бачимо з графіка, під час обробки найменшого за об'ємом зразка (зразок 3) на певному етапі, а саме на завершальній стадії обробки, необхідно подавати напругу, яка є у 3–5 разів більша за початкову.

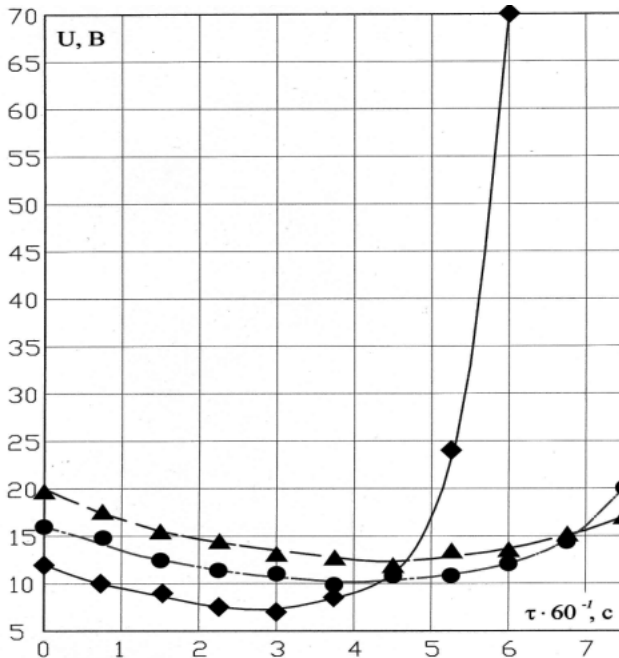


Рис. 4. Кінетика напруги під час електроконтактного нагрівання м'ясного фаршу струмом 4 А:

—▲— зразок 1; —●— зразок 2; —◆— зразок 3

Порівнюючи значення тривалості обробки однакових за об'ємом зразків, бачимо, що зразок 1 за постійної сили струму доходить до кулінарної готовності швидше на 23%, а зразки 2 та 3 – повільніше відповідно на 10% та 43%. Це доводить, що для інтенсифікації процесу обробки необхідно регулювати значення струму.

За дослідженнями було підраховано кількість енергії, витраченої на обробку зразків аналогічного об'єму (рис. 5).

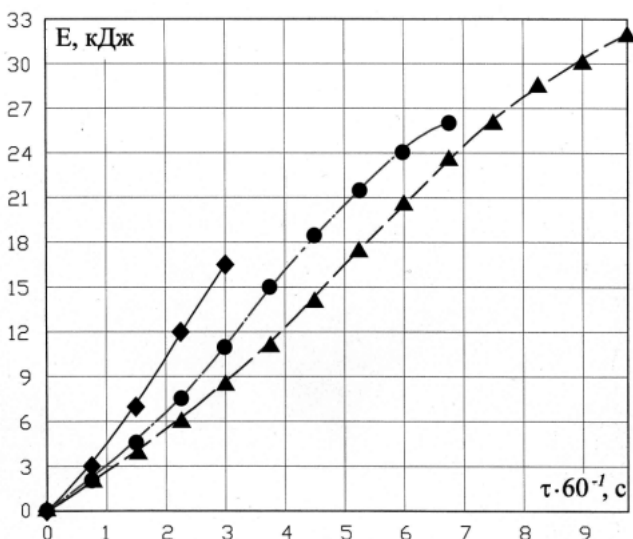


Рис. 5. Кінетика енергії, витраченої на електроконтактну теплову обробку фаршу струмом із напругою 15 В:
 —▲— — зразок 1; —●— — зразок 2; —◆— — зразок 3

Із графіка бачимо, що за умов однакової напруги необхідно затратити різну кількість енергії на нагрівання різних за об'ємом зразків. Відносно 3 зразка витрати енергії на нагрівання 2 зразка складають 81% , а зразка 1 – 51%.

Висновки. Таким чином, досліджено електричні показники та кінетику температури під час електроконтактної обробки напівфабрикатів. Кінетика сили струму під час електроконтактної теплової обробки зразків однакових за об'ємом і різних за складом не однакова. Найбільшого значення струм досягає за обробки фаршу, виготовленого за рецептурою, що містить сіль, за рахунок якої з'являються вільні іони. Кінетика температури показує, що швидкість нагрівання залежить від складу зразка. Швидкість нагрівання тим більша, чим більше зразок містить вільних іонів. Також вона залежить від його об'єму. Дослідження сили струму за обробки зразків різного об'єму свідчать про її динамічну зміну, а саме на початку обробки вона зростає до досягнення температури в центрі виробу 65 °С, а потім стрімко падає. Це пояснюється денатураційними змінами білків, що впливають на електропровідність.

Для інтенсифікації нагрівання необхідно регулювати електричні показники, тоді процес ЕКН може бути базовим для розробки комбінованих способів теплової обробки.

Список джерел інформації / References

1. Кінетика електрофізичних властивостей м'ясних січених виробів / В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна, О. Г. Дьяков, А. О. Шевченко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць. – Х. : ХДУХТ, 2006. – Вип. 1 (3). – С. 181–188.

Mikhaylov, V.M., Babkina, I.V., Diyakov, O.G., Shevchenko, A.O. (2012), “Kinetics of electrophysical properties of meat cut products, progresivni tehnika ta tehnologii harchovih virobnytvtv restorannogo gospodarstva i torgivli” [“Kinetyka elektrofizychnykh vlastyvoستي miasnykh sichenykh vyrobiv”], *Progressive technology and technologies of food production of restaurant industry and trade: Collection of scientific works*. KSUFTT, Kharkiv, pp. 181-188.

2. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини : монографія. В 3 ч. Ч. 2. Використання електроконтактного нагрівання в процесах жарення кулінарної продукції / О. І. Черевко [та ін.] ; за заг. ред. О. І. Черевка, В. М. Михайлова. – Х. : ХДУХТ, 2012. – 151 с.

Cherevko, O.I., Mikhaylov, V.M. et al. (2012), *New technical solutions in the design of equipment for thermal processing of food raw materials: monograph in 3 parts. Part 2. Use electrocontact heat in the process of frying cooking products* [Novi tekhnichni rishennia v proektuvanni obladnannia dlia teplovoi obrobky kharchovoi syrovyny: monohrafiya v 3 ch. Ch. 2. Vykorystannia elektrokontaktного nahrivannia v protsesakh zharennia kulinarnoi produktsii], KSUFTT, Kharkiv, 151 p.

3. Ohmic heating: Britannica Online Encyclopedia, available at: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/426067/ohmic-heating>

4. Ramaswamy, R., Balasubramaniam, V.M. (Bala), Sastry, S.K. Ohmic Heating of Foods, available at: <http://ohioline.osu.edu/foe-fact/0004.html>

Михайлов Валерій Михайлович, д-р техн. наук, проф., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Михайлов Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф., кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Mikhaylov Valeriy, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Шевченко Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доц., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0999038476; e-mail: process229@ukr.net.

Шевченко Андрей Александрович, канд. техн. наук доц., кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский госуниверситет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: 0999038476; e-mail: process229@ukr.net.

Shevchenko Andrey, Candidate of Technical Sciences, assistant professor Department of processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel. 0999038476; e-mail: process229@ukr.net.

Бабкіна Ірина Володимирівна, канд. техн. наук, проф., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Бабкина Ирина Владимировна, канд. техн. наук, проф., кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Babkina Irina, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-03; e-mail: process229@ukr.net.

Прасол Світлана Володимирівна, канд. техн. наук, ст. викл., кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0997061190; e-mail: process229@ukr.net.

Прасол Светлана Владимировна, канд. техн. наук, ст. преподаватель, кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский госуниверситет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: 0997061190; e-mail: process229@ukr.net.

Prasol Svetlana, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer Department of processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel. 0997061190; e-mail: process229@ukr.net.

Бабанов Ігор Геннадійович, канд. техн. наук, доц., кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601. Тел.: 0975776670; e-mail: igbabanov@ukr.net.

Бабанов Игорь Геннадиевич. канд. техн. наук. доц., кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств. Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 01601. Тел.: 0975776670; e-mail: igbabanov@ukr.net.

Babanov Igor, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Department of machines and apparatus of food and pharmaceutical productions, National University of Food Technologies. Address: Volodvmyrska str., 68, Kyiv, Ukraine, 01601. Tel. 0975776670; e-mail: igbabanov@ukr.net.
DOI: 10.5281/zenodo.1306590

УДК 542.816

СТВОРЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕМБРАННОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ РІДИН

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, З.О. Мазняк,
О.О. Удовенко, О.В. Омельченко**

Обґрунтовано новий підхід до питання технічного оснащення процесу мембранної обробки харчових рідин. Подано результати патентного пошуку існуючого мембранного обладнання для проведення мембранного концентрування й очищення харчових рідин, описано його недоліки. Розроблено нову конструкцію промислового обладнання для мембранної обробки різних видів харчових рідин. Описано будову розробленого мембранного обладнання і його принцип роботи.

Ключові слова: харчова рідина, процес, мембранна обробка, обладнання, ультразвук.

СОЗДАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕМБРАННОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ЖИДКОСТЕЙ

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, З.А. Мазняк,
О.А. Удовенко, А.В. Омельченко**

Обоснован новый подход к вопросу технического оснащения процесса мембранной обработки пищевых жидкостей. Представлены результаты патентного поиска существующего мембранного оборудования для проведения мембранного концентрирования и очистки жидкостей, описаны его недостатки. Разработана новая конструкция промышленного оборудования

© Дейниченко Г.В., Гузенко В.В., Мазняк З.О., Удовенко О.О., Омельченко О.В., 2018