

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ПЕКТИНУ З ВІДХОДІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.В. Омельченко,
О.Є. Мельник, В.В. Малич**

Розглянуто питання використання процесу кислотного екстрагування під час вилучення пектину з відходів цукрового виробництва. Надано аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень технологічних параметрів кислотного екстрагування пектинових речовин із використанням розробленого перемішувального елемента. За отриманими результатами зроблено висновки щодо доцільності використання нового методу інтенсифікації екстрагування пектину.

***Ключові слова:** буряк, процес, кислота, екстрагування, пектин, елемент, перемішування.*

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСА ЕКСТРАГІРОВАНИЯ ПЕКТИНА ИЗ ОТХОДОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.В. Омельченко,
О.Е. Мельник, В.В. Малич**

Рассмотрены вопросы использования процесса кислотного экстрагирования при изъятии пектина из отходов сахарного производства. Дан анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований технологических параметров кислотного экстрагирования пектиновых веществ с использованием разработанного перемешивающего элемента. По полученным результатам сделаны выводы относительно целесообразности использования нового метода интенсификации экстрагирования пектина.

***Ключевые слова:** свекла, процесс, кислота, экстрагирование, пектин, элемент, перемешивание.*

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF EXTRACTING PECTIN FROM SUGAR PRODUCTION WASTES

G. Deynichenko, V. Guzenko, O. Omelchenko, O. Melnik, V. Malych

Experimental research of acid extraction of pectin containing raw materials (beet pulp) is highlighted with the use of a new model of the mixing element compared to the usual lattice mixer. The experimental setting and the method of

processing the results of the study of extracting pectin substances from pectin containing raw materials (beet pulp) with the use of a new combined mixing element have been developed. Mathematical models are constructed in the form of nonlinear regression equations based on the method of planning a multifactor experiment with the input parameters of temperature, duration and duty of water module. It is found that the main influence on the change of output parameters is the input variables of temperature and duration of the process. Graphical dependences of quantitative and qualitative characteristics of pectin extracts (concentration of pectin substances, molecular mass, complex and drag-forming ability) are presented depending on the input parameters of temperature and duration of the extraction process of pectin substances. Analysis of these characteristics allowed to determine rational input parameters of the extraction process of pectin substances. Rational working parameters of the process of acid extraction of pectin substances from beet pulp using a new method of the process intensification are the temperature 60...70 °C, duration – 1...1,1 hours and hydro module 8...10. According to the results of studies, the feasibility of using a new intensification method was found. Further implementation of these results in the food and processing industry enables the development of a wide range of pectin products (extracts, liquid and dry pectin concentrates).

Keywords: *beet, process, acid, extraction, pectin, element, mixing.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. За своєю структурою харчові волокна – складний комплекс полісахаридів, целюлози, лігніну і пов'язаних із ними білкових речовин, що утворюють клітинні стінки рослин. Недостатня кількість харчових волокон у раціоні людини (зокрема, пектину) негативно позначається на її здоров'ї, знижуючи протидію організму несприятливому впливу навколишнього середовища [1].

Сьогодні існує достатня кількість технологій виробництва продуктів харчування з додаванням продуктів із вмістом пектина [2; 3]. Проте відомостей про використання пектинових екстрактів (ПЕ) з високою харчовою цінністю у виробництві харчових продуктів мало. Ці дані є розрізненими, що і обумовлює мету наших досліджень, результати яких будуть сприяти розширенню асортименту лікувальної та профілактичної продукції.

Актуальним і своєчасним питанням сьогодення є дослідження процесу екстрагування пектиновмісної сировини із застосуванням нових методів інтенсифікації шляхом перемішування робочого середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні відома низка методів отримання ПЕ з будь-якої рослинної сировини [4; 5]. Усі ці методи мають і переваги, і недоліки, серед яких: складність подальшої обробки сировини, великі витрати реагенту, складні й дороговартісні конструкції устаткування та його експлуатація, низькі

кількісні чи якісні показники одержаних пектинових екстрактів тощо. Критеріями ефективності будь-якої технології мають бути її універсальність, екологічність і безвідходність [6]. Тому найкращим рішенням цього питання є розробка і впровадження комбінованих методів проведення різних стадій загальної технології виробництва пектину. Зокрема, це стосується дослідження екстрагування відходів цукрового виробництва – жому цукрового буряку [7].

Сучасні технології вилучення пектинових речовин (ПР) із бурякового жому викликають низку завдань, що стосуються як підвищення кількості видобутих ПР, так і поліпшення якісних характеристик ПЕ [8; 9]. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування нових методів інтенсифікації процесу екстрагування. При цьому важливо вивчити та визначити раціональні режими цього процесу: температуру, гідромодуль, тривалість та ін.

Метою статті є дослідження процесу кислотного екстрагування пектиновмісної сировини із застосуванням нової моделі, перемішувального елемента для покращення якісних і кількісних характеристик пектинових екстрактів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У науковій лабораторії «Нанотехнології харчових продуктів» Харківського державного університету харчування та торгівлі були проведені дослідження з вибору оптимальних режимів кислотного екстрагування жому цукрового буряку. Із метою вдосконалення процесу кислотного екстрагування жому цукрового буряку був обраний метод інтенсифікації процесу, де можуть брати участь гідромеханічні процеси.

Процес кислотного екстрагування досліджували на експериментальній установці (рис. 1), яка має у своєму складі мішалку – решітчастий перемішувальний елемент. Щоб досягти більшої рівномірності й інтенсивності вилучення ПР, до конструкції решітчастого перемішувального елемента були додані спеціальні пропелерні пластини для створення зус трічних потоків робочої рідини.

Установка для дослідження процесу екстрагування працює таким чином. Ємність із нагрітим теплоносієм (водою), в якій розміщується робоча ємність з екстрагентом і свіжою сировиною накривається кришкою, після чого здійснюється екстрагування. У разі використання сушеного жому цукрового буряку його попередньо піддають промиванню і набряканню за участю решітчастого і комбінованого перемішувального елемента.

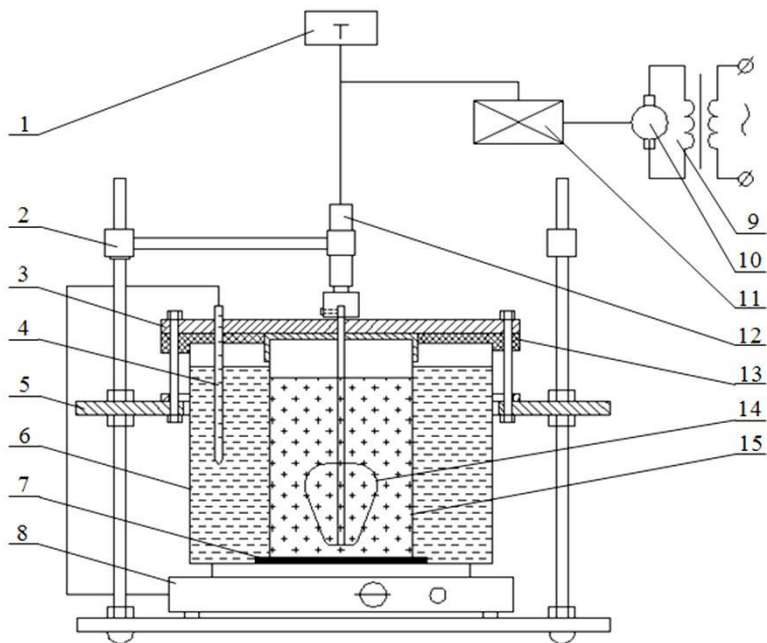


Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки для дослідження екстрагування ПР: 1 – тахометр; 2 – тримач патрона; 3 – кришка; 4 – термосигналізатор ТПК; 5 – станина; 6 – ємність із теплоносієм; 7 – підкладка; 8 – нагрівальний пристрій; 9 – автотрансформатор; 10 – електродвигун; 11 – редуктор; 12 – патронфіксатор; 13 – ізоляція; 14 – перемішувальний елемент; 15 – робоча ємність

Для визначення параметрів перебігу екстрагування ПР була запропонована математична модель, в основі якої лежать рівняння регресії, побудовані на основі методу планування багатofакторного експерименту. При цьому для дослідження було обрано такі основні показники процесу: t – температура екстрагування, $^{\circ}\text{C}$; τ – тривалість екстрагування, c^2 ; q – гідромодуль співвідношення твердої і рідкої фаз.

Визначення коефіцієнтів нелінійних рівнянь регресії здійснювалося шляхом побудови матриці планування, де було визначено кількість досліджень і межі зміни факторів. У результаті проведених досліджень і регресійного аналізу отримано рівняння регресії, які в натуральному вигляді представлені таким чином.

Концентрація ПР в екстрактах зі свіжого жому цукрового буряку із застосуванням решітчастого перемішувального елемента:

$$C_{ПР}^p = -0,171 + 0,028t - 0,146 \tau - 0,076q - 2,469 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,25 \tau^2 + 6,111 \cdot 10^{-3} q^2 - 7,812 \cdot 10^{-4} t \cdot \tau + 1,042 \cdot 10^{-4} t \cdot q + 0,027 \tau \cdot q; \quad (1)$$

– концентрація ПР для комбінованого перемішувального елемента:

$$C_{ПР}^k = 0,414 + 0,17t - 0,448 \tau - 0,083 \cdot 10^{-3} q - 1,531 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,453 \tau^2 + 6,944 \cdot 10^{-3} q^2 - 1,875 \cdot 10^{-3} t \cdot \tau - 8,333 \cdot 10^{-5} t \cdot q + 0,054 \tau \cdot q; \quad (2)$$

– молекулярна маса:

$$MM = -8,575 \cdot 10^3 + 616,958t + 73,958\tau + 952,083q - 4,827t^2 - 273,438\tau^2 - 273,438\tau^2 - 32,083 q^2 + 2,344t \cdot \tau - 7,021t \cdot q - 164,583\tau \cdot q; \quad (3)$$

– комплексоутворювальна здатність:

$$K3 = 3,279 - 0,036t + 0,392\tau - 0,017q - 1,5 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,5\tau^2 - 0,042q^2 + 0,016t \cdot \tau + 0,011t \cdot q - 0,042\tau \cdot q; \quad (4)$$

– драглеутворювальна здатність:

$$ГЗ = -125,854 + 5,107t + 89,375\tau + 8,708q - 0,036t^2 - 67,187\tau^2 - 0,417q^2 + 0,203t \cdot \tau + 0,023t \cdot q + 0,325\tau \cdot q. \quad (5)$$

Вищенаведені рівняння були отримані шляхом математичної обробки даних повного факторного експерименту з використанням табличного процесора Excel 2007 і проблемно-орієнтованого пакета обчислень MathCad 15 [10].

Динаміку зміни концентрації ПР під час вилучення бурякового жому з використанням решітчастого і комбінованого перемішувальних елементів показано на рис. 2, 3. Залежності якісних характеристик ПЕ, отриманих із використанням комбінованого перемішувального елемента для свіжої і сушеного сировини наведено на рис. 4, 5.

За даними рис. 3, 4 видно, що залежності зміни концентрації ПВ, молекулярної маси, комплексоутворювальної здатності від різних технологічних чинників екстрагування ПР із різної сировини мають нелінійний характер.

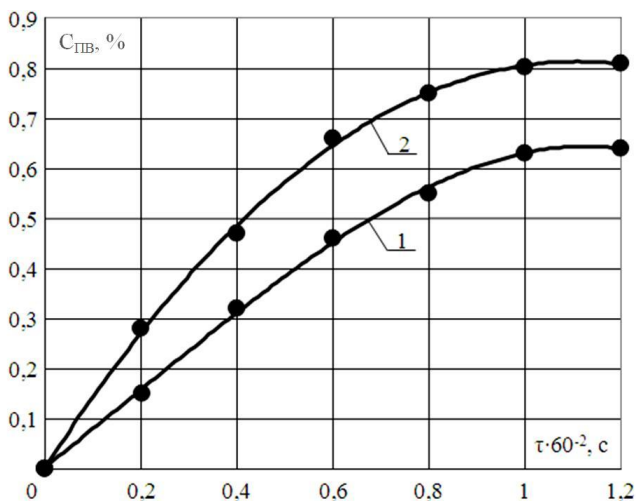


Рис. 2. Залежність зміни концентрації ПВ від тривалості екстрагування свіжого жому цукрового буряку при $t = 65^{\circ}C$, $q = 10$ із застосуванням перемішувальних елементів: 1 – решітчастого; 2 – комбінованого

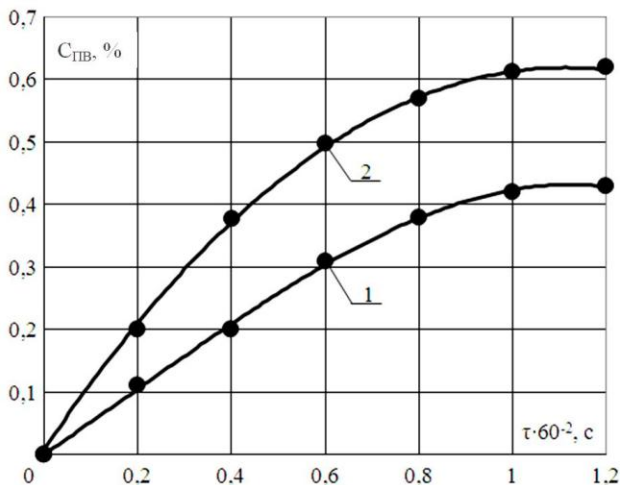


Рис. 3. Залежність зміни концентрації ПВ від тривалості екстрагування сушеного жому цукрового буряку при $t = 65^{\circ}C$, $q = 10$ із застосуванням перемішувальних елементів: 1 – решітчастого; 2 – комбінованого

Криві зміни кількості ПР в екстракті залежно від параметрів тривалості екстрагування ПР мають подібний характер як у разі застосування решітчастого, так і комбінованого перемішувальних елементів. На графічній залежності впливу тривалості.

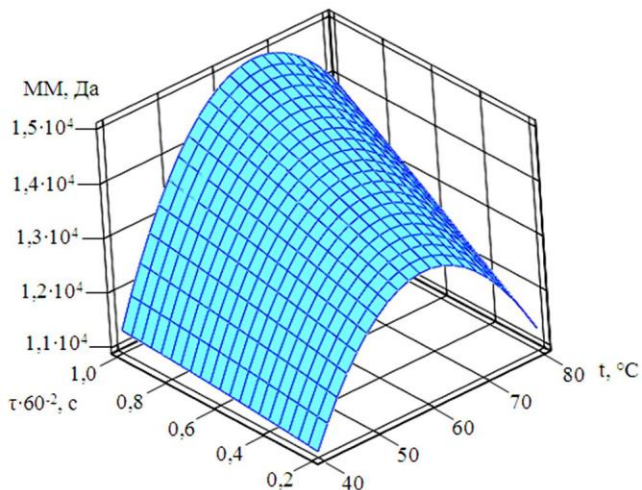


Рис. 4. Залежність зміни молекулярної маси ПЕ від температури (t) і тривалості екстрагування (τ) свіжої сировини

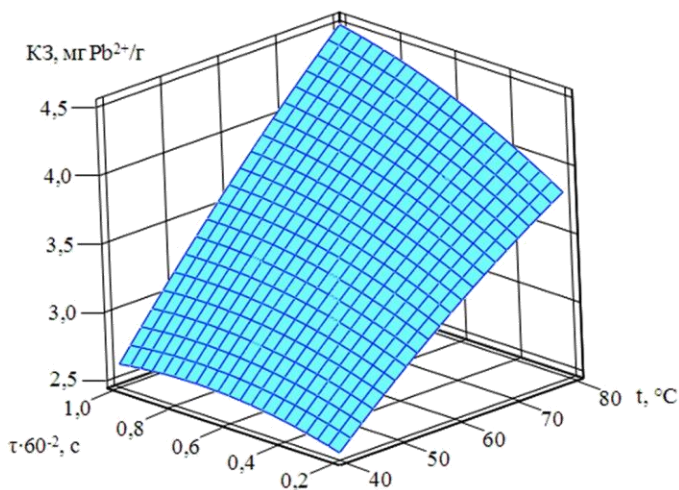


Рис. 6. Залежність зміни комплексоутворювальної здатності ПЕ від температури (t) і тривалості екстрагування (τ) свіжої сировини

екстрагування жому цукрового буряку на концентрацію ПР видно, що протягом $(1,0-1,1) \cdot 60^2$ с спостерігається спочатку інтенсивне, а потім повільне зростання концентрації ПР в екстракті. Під час подальшого екстрагування концентрація ПР у пектинових екстрактах набуває сталого значення.

Застосування комбінованого перемішувального елемента значно збільшує величину концентрації ПР в екстракті – на 21–33% порівняно з використанням решітчастого перемішувального елемента.

Поверхня залежності молекулярної маси від температури і тривалості екстрагування ПР (рис. 5) в напрямку збільшення температури процесу для обох видів бурякової сировини має нелінійний характер. Зі збільшенням значень температури до 60...70 °С відбувається зростання молекулярної маси ПР до максимального значення $MM = 1,86 \cdot 10^4$ для свіжої сировини і $MM = 1,86 \cdot 10^4$ для сухої сировини. Із подальшим підвищенням температури до 80 °С спостерігається різке зниження молекулярної маси ПР, що, імовірно, є наслідком зниження фізико-механічних властивостей ПР в екстракті за високих значень температури [11].

Значення комплексоутворювальної здатності ПР (рис. 6) зростає пропорційно до збільшення температури і тривалості екстрагування ПР. Так, максимальні значення комплексоутворювальної здатності ($KZ_{\max} = 4,0-4,5$ мг Pb^{2+} /г для свіжої сировини і $KZ_{\max} = 2,5-2,6$ мг Pb^{2+} /г – для сухої сировини) спостерігаються за температури 70...75 °С і тривалості процесу $(1,0-1,1) \cdot 60^2$ с.

Із вищенаведених даних видно, що екстрагування ПР із жому цукрового буряку в кислому середовищі має достатньо складний характер. Такий характер виявлено застосуванням математичної моделі, що являє собою рівняння регресії, коефіцієнти яких визначені на основі реалізації повнофакторного експерименту.

Отримання високих показників концентрації ПР в екстракті обґрунтовується застосуванням комбінованого перемішувального елемента. Порівняно з використанням решітчастого перемішувального елемента концентрація ПР в екстракті зростає в 1,3–1,4 разу як для сушеного, так і для свіжого жому цукрового буряку.

Порівняльний аналіз розрахункових якісних і кількісних характеристик отриманих ПЕ показав досить високий збіг розрахункових і експериментальних вхідних параметрів процесу для обох видів сировини.

З урахуванням отриманих залежностей (рис. 6, 7) і певних раціональних параметрів екстрагування бурякового жому з використанням комбінованого перемішувального елемента рівняння

регресії (1)–(5) визначено, що найбільш прийнятними технологічними режимами процесу є:

- температура процесу $t = 60...70$ °С;
- тривалість процесу $\tau = (1,0-1,1) \cdot 60^2$ с;
- гідромодуль $q = 8-10$.

Отримані результати можна використати під час дослідження інших технологічних параметрів екстрагування інших видів пектиновмісної сировини, а також для вдосконалення апаратурного оснащення виробничих ліній із переробки пектиновмісної сировини.

Висновки. Проведено дослідження з удосконалення процесу екстрагування пектиновмісної сировини із застосуванням комбінованого перемішувального елемента. Перевагою останнього є покращення кількісних і якісних характеристик екстрагування пектиновмісної сировини. Цей висновок зроблено за результатами повнофакторного експерименту з екстрагування із застосуванням комбінованого перемішувального елемента порівняно з решітчастою мішалкою.

Одержано раціональні параметри проведення екстрагування жому цукрового буряку із застосуванням комбінованого перемішувального елемента: температура процесу екстрагування 60...70 °С; тривалість отримання пектинових речовин $(1,0-1,1) \cdot 60^2$ с; гідромодуль співвідношення пектиновмісної сировини й екстрагента 8–10.

Список джерел інформації / References

1. Разработка оборудования для исследования количественных и качественных характеристик пектиновых концентратов / Г. В. Дейниченко, Н. А. Афукова, З. А. Мазняк, В. В. Гузенко // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 3/5 (17). – С. 11–14.

Deinichenko, G., Afukova, N., Maznyak, Z., Guzenko, V. (2014), “Development of equipment for the study of quantitative and qualitative characteristics of pectin concentrates”, *Technological audit and production reserves* [“Razrobotka oborudovaniya dlya issledovaniya kolichestvennykh i kachestvennykh harakteristik pektinovykh kontsentratorov”, *Tehnologicheskiiy audit i rezervy proizvodstva*], No. 3/5(17), pp. 11-14.

2. Berk, Z. (2009), *Food process Engineering and Technology*. Elsevier, USA, 605 p.

3. Pertseyov, F., Savgira, Yu., Foshchan, A. (2005), *Modifying additives in jelly products*, NUFT, Kiev, 260 p.

4. Ильина И. А. Научные основы технологии модифицированных пектинов / И. А. Ильина. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2001. – 312 с.

Піна, І. (2001). *Scientific basis of modified pectin technology* [Научные основы технологии модифицированных пектинов], Просвещение-Юг, Краснодар, 312 p.

5. Способ получения пектина и пищевых волокон с использованием электрохимически активированной воды / В. А. Голыбин, А. К. Матвиенко, В. П. Федорук, Д. В. Мирах // Вестник ВГУИТ. – 2015. – № 3. – С. 161–165.

Golybin, V., Matvienko, A., Fedoruk, V., Murach, D. (2015). "The method of producing pectin and dietary fiber using electrochemically activated water", *Herald VGUIT* ["Способ получения пектина и пищевых волокон с использованием электрохимически активированной воды", *Vestnik VGUIT*], No. 3, pp. 161-165.

6. Екстракція рослинної сировини / Ю. І. Сидокров, І. І. Губицька, Р. Т. Конечна, В. П. Новіков. – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – С. 116–117.

Sydorov, Yu., Hubyts'ka, I., Konechna, R., Novikov, V. (2008), *Extraction of plant material [Ekstraktsiya roslynnoi syrovyni]*, Vydavnytstvo Natsional'noho universytetu «Lviv'ska politehnika», Lviv, pp. 116-117.

7. Liu, B., Zhang, J., Liu, L., Hotchkiss, A. (2012), "Utilization of Pectin Extracted Sugar Beet Pulp for Composite Application", *Journal of biobased materials and bioenergy*, Vol. 6, Iss. 2, pp. 185-192.

8. Concha, J., Weinstein, C., Zúñiga, M. (2013), "Production of pectic extracts from sugar beet pulp with antiproliferative activity on a breast cancer cell line", *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, Vol. 7, Iss. 4, pp. 482-489.

9. Phillips, G., Williams, P. (2009), *Handbook of hydrocolloids*, Woodhead Publishing Limited, New York, 1003 p.

10. Остапчук М. В. Математичне моделювання на ЕОМ : підручник / М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич. – Одеса : Друк, 2006. – 313 с.

Ostapchuk, M., Stankevych, G. (2006), *Mathematical modeling of computer [Matematychnе modelyuvannya na EOM]*, Druk, Odessa, 313 p.

11. Донченко Л. В. Пектин: основные свойства, производство и применение / Л. В. Донченко, Г. В. Фирсов. – М. : ДеЛи, 2007. – 276 с.

Donchenko, L., Firsov, G. (2007), *Pectin: basic properties, production and use [Pektin: osnovnyie svoystva, proizvodstvo i primeneniye]*, Deli, Moscow, 276 p.

Дейниченко Григорій Вікторович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkov@ukr.net.

Дейниченко Григорій Вікторович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkov@ukr.net.

Deynichenko Gregory, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Department Equipment for Food and Hotel Industry after M.I. Belyaeva. Address: Klouchkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkov@ukr.net.

Гузенко Василь Володимирович, канд. техн. наук, ст. викл., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56, e-mail: kp87vasil@ukr.net.

Гузенко Василій Володимирович, канд. техн. наук, ст. преп., кафедра обладнання харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, г. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: kp87vasil@ukr.net.

Guzenko Vasiliiy, PhD (Tech.), Senior Teacher, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Department Equipment for Food and Hotel Industry after M.I. Belyaeva. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: kp87vasil@ukr.net.

Омельченко Олександр Володимирович, канд. техн. наук, доц., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання. Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0972958852; e-mail: omelchenko84@ukr.net.

Омельченко Александр Владимирович, канд. техн. наук, доц., кафедра общинженерных дисциплин и оборудования. Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005. Тел.: 0972958852; e-mail: omelchenko84@ukr.net.

Omelchenko Oleksandr, PhD (Tech.), Associate Professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Department of General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0972958852; e-mail: omelchenko84@ukr.net.

Мельник Ольга Євгенівна, канд. техн. наук, доц., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail: melnikolgaevgenivna@ukr.net.

Мельник Ольга Евгеньевна, канд. техн. наук, доц., кафедра общинженерных дисциплин и оборудования, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail: melnikolgaevgenivna@ukr.net.

Melnik Olga, PhD (Tech.), Assoc. Prof., Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Department of General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0671049709; e-mail: melnikolgaevgenivna@ukr.net.

Малич Володимир Володимирович, магістрант, кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail: ido@donnuet.edu.ua.

Малич Владимир Владимирович, магістрант, кафедра общенженерных дисциплин и оборудования, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005. Тел.: 0671049709; e-mail: ido@donnuet.edu.ua.

Malych Volodymyr, master, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Department of General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0671049709; e-mail: ido@donnuet.edu.ua.

DOI: 10.5281/zenodo.3263706

УДК 004.942:641.539

МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ІНФРАЧЕРВОНИХ АПАРАТАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Ю.М. Тормосов, С.Ю. Саєнко

Розглянуто один із можливих методів моделювання втрат теплової енергії в інфрачервоних апаратах харчової промисловості. Наведена модель базується на законі Бугера. Отримано модель залежності відстані від випромінювача до приймача залежно від газового середовища, визначено вплив втрат частини енергії на форму відбивача теплових променів у апаратах харчової промисловості, де використовуються інфрачервоні випромінювачі.

Ключові слова: *інфрачервоний випромінювач, втрати енергії, газове середовище, відбивач, приймач.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ИНФРАКРАСНЫХ АППАРАТАХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ю.М. Тормосов, С.Ю. Саєнко

Рассмотрен один из возможных методов моделирования потерь тепловой энергии в инфракрасных аппаратах пищевой промышленности. Представленная модель базируется на законе Бугера. Получена модель зависимости расстояния между излучателем и приемником в зависимости от

© Тормосов Ю.М., Саєнко С.Ю., 2019