

**МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ.
ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ**

- Zavialov, V., Bodrov, V., Misyura, T., Popova, N., Zaporozhets, Y., Dekanskiy, V. (2015), Development of mathematical models of external mass exchange under conditions of vibroextraction from vegetable raw materials. *Chemistry & Chemical Technology*, 9(3), pp. 367-374.
- Zav'yalov, V.L., Zaporozhecz', Yu.V., Bodrov, V.S., National University of Food Technologies (2009), *Vibracijnyj ekstraktor* [Vibration extractor] State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. no. 86485
- Zav'yalov, V.L., Lobok, O.P., My'syura, T.G., Zaporozhecz', Yu.V., Popova, N.V., Bodrov, V.S. (2013), "Mathematic modeling of flow structure in continuous action vibroextractors of column type with vibrating phase separation", *Naukovi praci ONAXT*, no. 43., Vol. 2., pp. 26-29.
- Зав'ялов, В.Л., Мисюра, Т.Г., Бодров, В.С., Запорожець, Ю.В., Попова, Н.В., Деканський, В.С. (2015), "Regularities of pulsing flows action in conditions of counterflow phase separation in vibroextraction of vegetable materials", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, III (5), Issue.41, pp. 95—99.

УДК 641.5

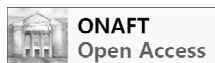
**СИСТЕМНО-ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО
ЖАРЕННЯ БІФШТЕКСІВ
SYSTEM-DYNAMIC PROCESS MODELING
OF INFRARED STEAKS FRYING**

Потапов В.О., д-р техн. наук, професор, Костенко С.М.
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків
Potapov V.O., Kostenko S.M.
Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



У роботі проведено імітаційне моделювання процесу інфрачервоного жарення біфштексів за використання програмного комплексу *Vensim*, що реалізує системно-динамічну технологію потокового типу. Використання системно-динамічного моделювання уможливорює повну та якісну оцінку впливу таких факторів, як коефіцієнт відбивача, потужність апарату, ціна електроенергії, на характер та значення вихідної функції, тобто реалізацію біфштексу, а також вартість витраченої електроенергії. В імітаційній моделі досліджувався вплив наявності відбивача променевого потоку в апараті інфрачервоного жарення на вихід продукту та витрати електроенергії. Профіль рефлектора забезпечує рівномірне опромінення приймача опуклого перерізу, тобто біфштексу. Використання в апараті відбивача променевого потоку призводить до збільшення виходу продукту на 20 %, скорочення терміну жарення на 40 %, скорочення вартості електроенергії на 35 %. Використання спрофільованих відбивачів, які забезпечують рівномірне опромінювання опуклого теплоприймача, покращує органолептичні властивості продукції та підвищує енергоефективність інфрачервоного обладнання харчових виробництв. Експериментування з імітаційними моделями процесів теплової обробки надає системне підґрунтя для інтенсифікації та оптимізації процесів та обладнання харчових виробництв.

Simulation process modeling of infrared steaks frying using the software package *Vensim*, that implements the system-dynamic technology of streaming type, is carried out in the work. The use of system-dynamic modeling makes it possible to complete and qualitative assessment of the impact of factors such as reflector coefficient, power unit, electricity price, to the nature and value of the output function, i.e. the realization of steak, and the cost of electricity consumed. The effect of the presence of a radiant flux reflector in the infrared frying apparatus on the product yield and the cost of electricity was investigated in the simulation model. The profile of the reflector ensures a uniform irradiation of the receiver's convex cross section, i.e. steak. The use in the apparatus of the radiant flux reflector causes to an increase in the product yield of 20 %, reduction in the cooking period 40 %, reduction in the cost of electricity by 35 %. Exploitation by profiled reflectors that provide uniform irradiation of the convex heat receiver improves the organoleptic characteristics of the product and increases energy efficiency of infrared food production equipment. Experimentation with simulation models of thermal processing provides a systemic basis for intensification and optimization of processes and equipment for food production.

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

Ключові слова: системний аналіз, імітаційна модель, інфрачервоне жарення, відбивач, біфштекс.

Keywords: system analysis, simulation model, infrared frying, reflector, steak.

Системний аналіз пов'язує та узагальнює всі засоби вдосконалення процесу виробництва харчової продукції, що дозволяє не тільки одержати кількісну оцінку, але й визначити шляхи оптимізації. Разом з розробкою прогресивних процесів виникає можливість створювати імітаційні моделі, необхідні для вирішення задач оптимізації [1, 2]. На відміну від звичайного моделювання, яке обмежується спостереженням та формальними статистичними зв'язками між елементами системи, імітаційне моделювання реалізує морфологію системи для точної та всебічної динаміки процесу функціонування. Імітаційне моделювання є адекватним інструментом аналізу складних систем зі слабо формалізованими елементами, до яких можна віднести системи харчових виробництв [3, 4].

Імітаційне дослідження дозволяє поєднувати особливості експериментального підходу і специфіку засобів комп'ютерної підтримки. Програмний комплекс Vensim має підґрунтям потокову концепцію системної динаміки, за якої об'єкт – це динамічна система, що складається з накопичувачів, пов'язаних між собою керованими потоками. Кількісно кожний накопичувач описується рівнем його змісту, а кожний потік – темпом переміщення на основі інформації про вміст резервуарів [5, 6].

Таким чином, використання імітаційних системно-динамічних моделей дозволяє оптимізувати процес виробництва харчової продукції за обраними реакціями шляхом комп'ютерного експерименту зі зміною та комбінуванням значень критеріїв, забезпечуючи якісний продукт.

Мета роботи – розробка імітаційної моделі процесу інфрачервоного жарення біфштексів для системного аналізу ефективності використання в тепловому обладнанні відбивача променевого потоку. Головною конструктивною особливістю апарата для інфрачервоного жаріння м'ясних напівфабрикатів є відбивач, профіль якого визначається розв'язком оберненої задачі опромінення та забезпечує рівномірний розподіл сумарного променевого потоку на поверхні опуклого теплоприймача, яким є м'ясний напівфабрикат [7, 8]. Інструментальною базою моделювання обрано системно-динамічну технологію потокового типу (програмний комплекс Vensim).

Одиницею виміру часу в моделі є хвилина, що відповідає терміну найменшої затримки. Термін моделювання складає 20 хвилин. Загальний вигляд моделі наведено на рис. 1.

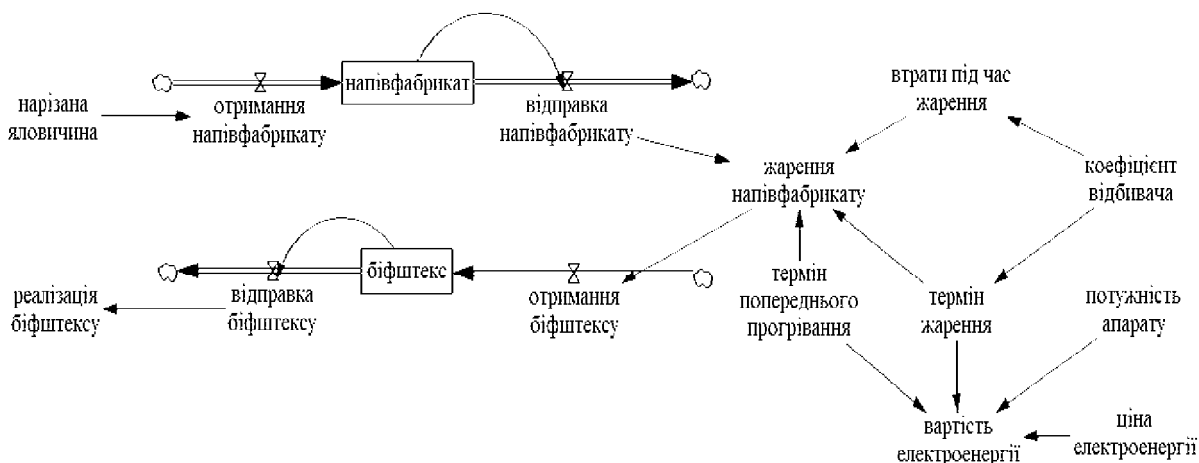


Рис. 1 – Імітаційна модель у Vensim

Припущення [9, 10]:

- 1) поставка яловичини є разовою пульсуючою;
- 2) затримки на операціях відповідають рекомендаціям з експлуатації;
- 3) терміни теплової обробки відповідають типовому обладнанню;
- 4) втрати на операціях відповідають експериментальним дослідженням
- 5) залишок продукту відсутній.
- 6) якість продукту незмінна.

Екзогенні керовані змінні [11, 12]:

- 1) масові компоненти (нарізана яловичина);
- 2) енергетичні компоненти (коефіцієнт відбивача, потужність обладнання, термін попереднього прогрівання);
- 3) економічні компоненти (ціна електроенергії).

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

Ендогенні керовані змінні [11, 12]:

- 1) втрати під час жарення становлять 33 %, помножені на коефіцієнт відбивача;
- 2) термін жарення становить 15 хв, помножені на коефіцієнт відбивача;
- 3) жарення напівфабрикату визначається фіксованою затримкою відправки напівфабрикату на суму термінів попереднього прогрівання та жарення з урахуванням втрат під час жарення;
- 4) вартість електроенергії визначається ціною електроенергії за суму термінів попереднього прогрівання та жарення з урахуванням потужності апарату.

Моделним відгуком, або реакцією моделі була реалізація біфштексу.

Всі фактори мають ефект взаємодії, тобто комбінованого впливу на реакцію моделі. Було використано наступні рівні факторів:

- для спрощення моделювання та аналізу обрано кількість яловичини 1 кг;
- коефіцієнт відбивача становить 0.6, тобто відношення терміну жарення м'ясного напівфабрикату в апараті з відбивачем (9 хв) до терміну жарення у апараті без відбивача (15 хв);
- потужність обладнання становить 1 кВт;
- термін попереднього прогрівання апарату становить 2 хв;
- ціна електроенергії поки що становить 0.02178 грн/кВт хв, тобто 1.3068 грн/кВт год (постанова НКРЕКП № 826 від 24.05.2016 р.).

Експеримент проводився для значень коефіцієнту відбивача 1 (відбивача нема, Current 1) та 0.6 (відбивач є, Current 06).

Значення реалізації біфштексу наведено на рис. 2.

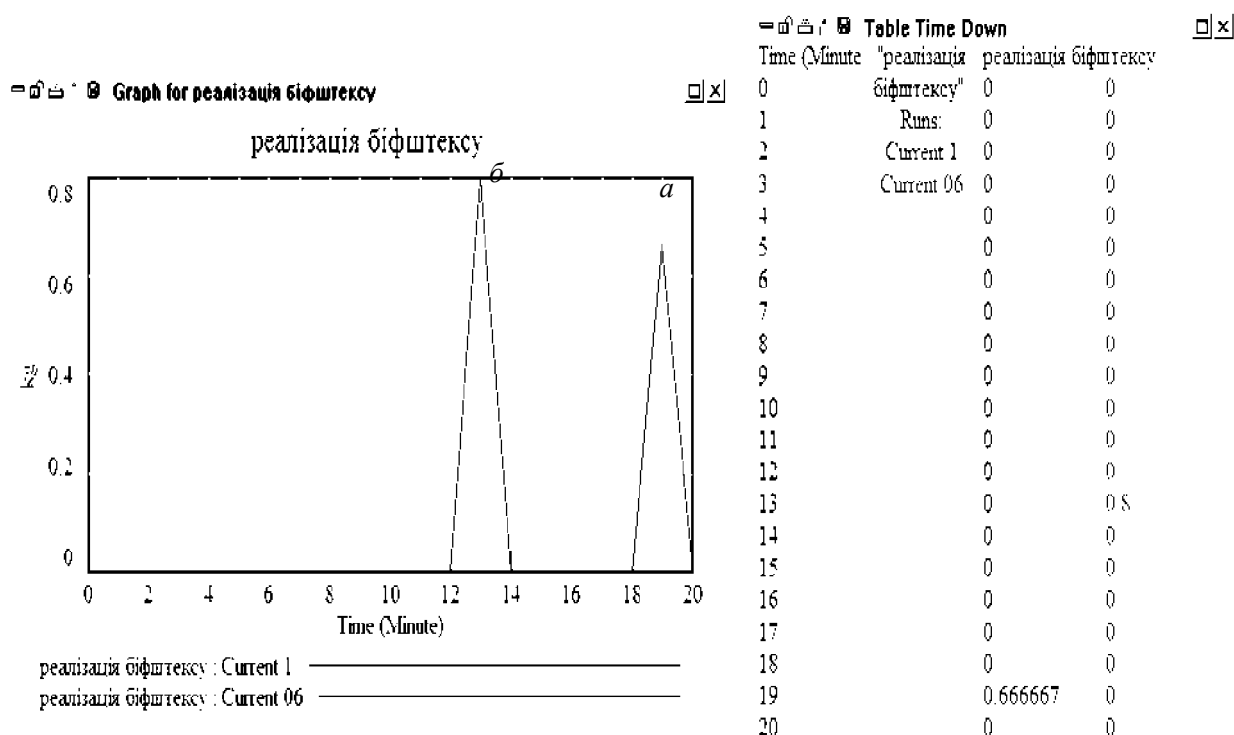


Рис. 2 – Реалізація біфштексу (кг): *a* – Current 1, *b* – Current 06

Значення терміну жарення та вартості електроенергії наведено на рис. 3.

Таким чином, використання відбивача променевого потоку забезпечує:

- збільшення виходу продукту (рис. 2) на $0.8 / 0.67 - 1 = 1.2 - 1 = 0.2$, тобто на 20 %;
 - скорочення терміну жарення (рис. 3) на $1 - 9 / 15 = 1 - 0.6 = 0.4$, тобто на 40 %.
- скорочення вартості електроенергії (рис. 3) на $1 - 0.24 / 0.37 = 1 - 0.65 = 0.35$, тобто на 35 %.

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ

Time (Minute)	"термін жарення"	термін жарення	Time (Minute)	"вартість електроенергії"	вартість електроенергії
0	Runs:	15	9	0.37026	0.23958
1	Current 1	15	9	0.37026	0.23958
2	Current 06	15	9	0.37026	0.23958
3		15	9	0.37026	0.23958
4		15	9	0.37026	0.23958
5		15	9	0.37026	0.23958
6		15	9	0.37026	0.23958
7		15	9	0.37026	0.23958
8		15	9	0.37026	0.23958
9		15	9	0.37026	0.23958
10		15	9	0.37026	0.23958
11		15	9	0.37026	0.23958
12		15	9	0.37026	0.23958
13		15	9	0.37026	0.23958
14		15	9	0.37026	0.23958
15		15	9	0.37026	0.23958
16		15	9	0.37026	0.23958
17		15	9	0.37026	0.23958
18		15	9	0.37026	0.23958
19		15	9	0.37026	0.23958
20		15	9	0.37026	0.23958

Рис. 3 – Термін жарення (хв) та вартість електроенергії (грн)

Висновки. Системно-динамічна модель процесу жарення біфштексів, створена за обраних обмежень та припущень у програмному комплексі Vensim, дає можливість за обґрунтованої зміни керованих екзогенних змінних (коефіцієнт відбивача, потужність апарату, термін попереднього прогрівання, ціна електроенергії) та ендогенних змінних (втрати під час жарення, термін жарення) отримувати значення реакцій моделі (реалізація біфштексу, термін жарення, вартість електроенергії) та робити системний висновок про ефективність використання відбивача інфрачервоного потоку у апаратах жаріння м'ясних напівфабрикатів. Для повної оцінки ефективності використання відбивача променевого потоку в апараті інфрачервоного жарення потрібно розширити перелік факторів впливу на функцію відгуку, що стане предметом подальших досліджень. Очевидно, що використання вузькофахових методів моделювання та аналізу не забезпечує комплексного розуміння та системної оптимізації технологічного процесу.

Література

1. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / О.Н. Сафонова, Ф.В. Перцевой, О.А. Гринченко, А.Л. Фощан, П.П. Пивоваров, А.В. Богомолов, Л.Н. Тищенко, Б.Ч. Гарнцарек. – Харьков: 2000. – 200 с.
2. Антонов А.В. Системный анализ: Учебник для вузов. – 2-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2006. – 452 с.
3. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. 3-е изд. – СПб.: ПИТЕР; Киев: Изд. группа ВНУ, 2004. – 847 с.
4. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005 – 349 с.
5. Биткова Т.В. Построение системно-динамических моделей в среде Vensim. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Имитационное моделирование» для студентов специальностей «Экономическая кибернетика» и «Прикладная экономика». – Х.: ХНУ, 2004 – 52 с.
6. Меркулова Т. В. Экономико-математическое моделирование: учебное пособие / Т. В. Меркулова, Т. В. Биткова, Е. Ю. Кононова. – [2-е изд., дораб.] – Х.: Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2011. – 276 с.
7. Плевако, В.П. Рефлектор для рівномірного опромінювання приймача з урахуванням втрат теплоти [Текст] / Плевако В.П., Костенко С.М., Педорич І.П. // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Голов. ред. О.О. Шубін; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського – 2010. – Вип. 24. – С. 137–146.
8. Костенко С. М. Комплексна оцінка якості апарату АРЖМ-0.07-1 [Текст] / С. М. Костенко // Прогресивні технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / [редкол. : О. І. Черевко (відпов. ред.) та ін.]. Харків : ХДУХТ, 2014. – Вип. 2 (20). – С. 168–173.
9. Черевко О.І., Михайлов В.М., Бабкіна І.В. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів: Навч. посібник, Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. – Харків, 2000. – 332 с.: іл.; табл.
10. Перцевий Ф.В. та ін. Технологія продукції харчових виробництв: Навч. посібник / Ф.В. Перцевий, Н.В. Камсуліна, М.Б. Колеснікова, М.О. Янчева, П.В. Гурський, Л.М. Тищенко / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2006. – 318 с.: табл.

**МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ.
ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ**

11. Плевако В. П. Експериментальне доведення методики визначення профілю відбивача / В. П. Плевако, С. М. Костенко, С. О. Лобов // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / голов. ред. О. О. Шубін ; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – Вип. 29. – С. 48–52.
12. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини: монографія в 3 ч. Ч. 3. Підвищення ефективності теплового обладнання з інфрачервоним нагріванням / В. П. Плевако, С. М. Костенко, І. П. Педорич ; за заг. ред. О. І. Черевка, В. М. Михайлова. – Х. : ХДУХТ, 2012. – 130 с.

References

1. Safonova, O.N., Percevoj, F.V., Grinchenko, O.A., Foshchan, A.L., Pivovarov, P.P., Bogomolov, A.V., Tishchenko, L.N. and Garncarek, B.CH. (2000), *Sistemnye issledovaniya tekhnologii pererabotki produktov pitaniya* [System research of technology of food products treatment], Har'kov, Ukraine.
2. Antonov, A.V. (2006), *Sistemnyj analiz: Uchebnik dlya vuzov* [System analysis], 2nd ed., Vysshaya shkola, Moscow, Russia.
3. Lou, A.M., Kel'ton, V.D. (2004), *Imitacionnoe modelirovanie* [Imitation modeling], 3rd ed, Izd. gruppa BHV, Kiev, Ukraine.
4. Tomashevskij, V.M. (2005), *Modelyuvannya sistem* [Modeling of systems], Vidavnicha grupa BHV, Kiev, Ukraine.
5. Bitkova, T.V. (2004), *Postroenie sistemno-dinamicheskikh modelej v srede Vensim. Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornyh rabot po kursu «Imitacionnoe modelirovanie» dlya studentov special'no-stej «EHkonomicheskaya kibernetika» i «Prikladnaya ehkonomika»* [Building of system-dynamic models in Vensim medium], HNU, Kharkiv, Ukraine.
6. Merkulova, T. V. Bitkova, T. V., Kononova, E. YU. (2011), *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie: uchebnoe posobie* [Economic-mathematical modeling], 2nd ed., Har'kovskij nacional'nyj universitet imeni V. N. Karazina, Kharkiv, Ukraine.
7. Plevako, V.P., Kostenko, S.M., Pedorich, I.P. (2010), “Reflector for uniform radiation treatment of receiver taking into account heat consumption” *Obladnannya ta tekhnologii harchovih virobnictv : temat. zb. nauk. pr., Donec. nac. un-t ekonomiki i torgivli im. M. Tugan-Baranovs'kogo*, Issue 24, pp. 137 – 146.
8. Kostenko, S. M. (2014), “Complex estimation of quality of ARZHM-0.07-1 apparatus”, *Progresivni tekhnika ta tekhnologii harchovih virobnictv restorannogo gospodarstva i torgivli : zb. nauk. pr., HDUHT, Harkiv*, Issue 2 (20), pp. 168–173.
9. Cherevko, O.I., Mihajlov, V.M., Babkina, I.V. (2000) *Procesi ta aparati zharinnya harchovih produktiv: Navch. Posibnik* [Processes and apparatuses of food products frying], Hark. derzh. akad. tekhnol. ta org. Harchuvannya, Kharkiv, Ukraine.
10. Percevoj, F.V., Kamsulina, N.V., Kolesnikova, M.B., Yancheva, M.O., Gurs'kij, P.V., Tishchenko, L.M. (2006), *Tekhnologiya produkcii harchovih virobnictv* [Technology of food products productions], HDUHT, Kharkiv, Ukraine.
11. Plevako, V. P., Kostenko, S. M., Lobov, S. O. (2012), “Experimental proof of reflector profile determination methods”, *Obladnannya ta tekhnologii harchovih virobnictv, Donec. nac. un-t ekonomiki i torgivli im. M. Tugan-Baranovs'kogo*, Issue 29. pp. 48–52.
12. Plevako, V. P., Kostenko, S. M., Pedorich, I. P. (2012), *Novi tekhnichni rishennya v proektuvanni oblادnannya dlya teplovoi obrobki harchovoi sirovini, Ch. 3. Pidvishchennya efektyvnosti teplovogo oblادnannya z infrachervonim nagrivannyam* [New technical solutions in designing of equipment for heat treatment of food materials, part 3, Increasing of energy efficiency of thermal equipment with infrared heating], in Cherevko, O. I. , Mihajlov V. M. (ed), HDUHT , Kharkiv, Ukraine.