

numerical methods: Navch.posib. / L. I. Turchak, P. V. Plotnikov. M. – Moscow, 304. **3.** *Formales, V. F., Revision, D. L.* (2004). Numerical methods. Textbook. M. – Moscow, 400. **4.** *Bakhvalov, N. C., Zhidkov, N. P., Kobel'kov, G. M.* (2002). Numerical methods: Navch.posib., 632. **5.** *Bakhvalov, N. C., Lapin, A. V., Chigonkov, E. V.* (2000). Numerical methods in problems and exercises: Navch.posib., 192. **6.** *Kovalenko, I. V., Malinovsky, V. V.* (2006). Basic processes, machines and apparatuses of chemical productions. The tutorial, 261. **7.** *Kovalenko, I. V., Malinovsky, V. V.* (2007). The calculations of basic processes, machines

and apparatuses of chemical productions: Navch.posib., 212. **8.** *Mac-Kraken, D., Dorn, U.* (1977). Numerical methods and programming Fortran, 584. **9.** *Ward, T., Bromhead, E.* (1993). Fortran and the art of programming a personal computer, 351. **10.** *Sahno, S., Usbsi, D., Yarmola, G.* (2013). Application prescoring of Newton's method and finite-difference methods to the solution of the problem of finding periodic modes in nonlinear dynamical systems. Bulletin of Lviv University. Series applied mathematics and Informatics, 19, 41, 39-46.

Надійшла (received) 27.05.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Казак Ірина Олександрівна** – кандидат педагогічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», асистент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; тел.: 050-600-86 – 08 ; e-mail: [AsistentIA@meta.ua](mailto:AsistentIA@meta.ua).

**Казак Ірина Александровна** – кандидат педагогических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», ассистент кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения; тел.: 050-60-86-08; e-mail: [AsistentIA@meta.ua](mailto:AsistentIA@meta.ua).

**Kazak Irina Aleksandrovna** - Candidate of Pedagogical Sciences (Ph. D.), National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", assistant at the Department of Chemical, polymer and silicate engineering; tel.: 050-60-86-08; e-mail: [AsistentIA@meta.ua](mailto:AsistentIA@meta.ua).

УДК 641.521:641.53.92.004.15

**Ю. М. КОРЕНЕЦЬ, Р. П. НИКИФОРОВ**

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ІЧ-СМАЖЕННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ В УМОВАХ ВІДКРИТОГО РОБОЧОГО ПРОСТОРУ

Робота містить опис активного експерименту, проведеного для визначення оптимальних параметрів процесу ІЧ-смаження харчової сировини в умовах відкритого робочого простору. На підставі даних, отриманих в ході експерименту, сформульовано висновки, які мають практичну користь для проведення подальших наукових досліджень у даному напрямку та розробки рекомендацій для реального виробництва. Отримані емпіричні залежності дозволяють судити про вплив факторів, що досліджувалися, на параметри оптимізації.

**Ключові слова:** ІЧ-обробка, ІЧ-смаження, гриль, грилювання, харчова сировина, відкритий робочий простір, параметр процесу, активний експеримент.

**Вступ.** Сьогодні ІЧ-обробка вважається одним із перспективних електрофізичних методів теплової обробки харчових продуктів, оскільки дає можливість істотно інтенсифікувати процес: зменшити енерговитрати, підвищити якість виробів та поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці [1]. В останні роки у закладах ресторанного господарства (ресторани, кафе, гриль-бари, підприємства швидкого обслуговування, кулінарні цехи) набула значного поширення продукція, виготовлена з використанням ІЧ-обладнання з відкритим робочим простором. Теплова обробка у таких технічних засобах відбувається за умов, які значною мірою відрізняються від традиційних способів теплової обробки харчової сировини. Перша суттєва відмінність – це ускладнений процес передачі теплоти, який супроводжується відбиванням значної частки променистої енергії від поверхонь продукту та апарату і її розсіюванням у робочому та навколишньому середовищі, які не розділені між собою конструктивними елементами апаратів [2, 3]. На відміну від традиційного теплового обладнання для смаження, у якому застосовується контактний нагрів (плити, сковороди, поверхні безпосереднього смаження), та ІЧ-обладнання із закритим робочим простором, де нагрівання продукту здійснюється не лише випромінюванням, але й конвективно гарячим повітрям

або іншим газовим середовищем та кондуктивно від поверхні, на якій розміщується продукт, в основу дії ІЧ-апаратів з відкритим робочим простором покладено безконтактний нагрів продукту ІЧ-

променями. По-друге, не розроблені практичні рекомендації щодо більш ефективної реалізації вже існуючих методів обробки харчової сировини: ІЧ-смаження (грилювання) напівфабрикатів з м'яса, риби, овочів. По-третє, як показує практика, існує ціла низка чинників, які утруднюють отримання готової продукції зі стабільно високими якісними показниками. По-четверте, виконання державної програми по забезпеченню населення якісною продукцією, примушує шукати шляхи для урізноманітнення асортименту харчових продуктів.

Таким чином, актуальним науковим завданням є вивчення процесу ІЧ-обробки харчової сировини різних видів за умов відкритого робочого простору з метою розробки практичних рекомендацій до проведення теплової обробки харчової сировини різних видів та вдосконалення існуючих технічних засобів.

**Мета роботи.** Метою роботи є розробка науково обґрунтованих рекомендацій по здійсненню теплової обробки харчової сировини тваринного походження ІЧ-випромінюванням у відкритому робочому просторі та вимог до технологічних параметрів обладнання, що використовується.

**Методика експериментів з визначення оптимальних параметрів процесу ІЧ-смаження харчової сировини тваринного походження в умовах відкритого робочого простору.** Предметами досліджень було обрано м'ясні напівфабрикати, призначені для смаження: котлета натуральна зі свинини,

© Ю. М. Коренець, Р. П. Никифоров. 2015

антрекот з яловичини, котлета натуральна з курячого філе, які були підготовлені до дослідження за традиційними технологіями [4, 5].

Для реалізації мети роботи було розроблено план і реалізовано активний експеримент [6].

Досліджено вплив на параметри процесу таких факторів:

$x_1$  – потужність, яка споживається джерелом ІЧ-випромінювання за весь цикл обробки (вихід на робочий режим і дві стадії обробки) ( $W$ ), Вт;  $x_2$  – товщина зразку ( $h$ ), м;  $x_3$  – початкова температура продукту ( $T$ ), К;  $x_4$  – відстань від продукту до джерела випромінювання ( $L$ ), м.

Як функції відгуку на зміну факторів контролювали такі параметри процесу:

$y_1$  – втрати маси продукту ( $\Delta m$ ), %:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $m$  – початкова маса продукту, кг;  $m_1$  – кінцева маса продукту, кг;  $y_2$  – питомі витрати електроенергії на повний цикл обробки ( $Q$ ), Дж/кг;

$$Q = \frac{W \cdot \tau}{m}, \quad (2)$$

де  $W$  – витрати електроенергії на повний цикл обробки, Вт;  $m$  – початкова маса продукту, кг;  $\tau$  – тривалість обробки, с.  $y_3$  – органолептична оцінка кінцевого продукту ( $Op$ ), балів.

В дослідженні застосовано метод органолептичної оцінки, який призначений для об'єктивного контролю якості продукції ресторанного господарства масового виготовлення і полягає у прямій рейтинговій оцінці якості зразків продукції в цілому та окремих ключових органолептичних характеристик зразків продукції. Для кожної оцінюваної характеристики встановлено сенсорні специфікації. Органолептичну оцінку проводили по п'яти показниках (зовнішній вигляд, колір, консистенція, смак, запах) за п'ятибальною шкалою. При цьому користувалися стандартною таблицею 5-бальної оцінки харчових і гастрономічних продуктів по Тільгнеру Д.С. [7] та ГОСТ 9959-91 [8].

Якість продукції, яку отримували в процесі проведення експериментів, за органолептичними показниками визначали для партії відразу після її виготовлення.

Для реалізації плану активного експерименту знадобилися попередні відомості, на підставі яких можна визначити інтервали варіювання факторів.

Товщина напівфабрикатів обумовлюється їх видом, а початкова температура відповідає діапазону температур для охолоджених напівфабрикатів. Тому межі варіювання цих двох факторів ( $x_2$  та  $x_3$  у плані експерименту) визначені апріорі.

Для визначення меж варіювання факторів експерименту  $x_1$  – потужність, яка подається на ТЕН та  $x_4$  – відстань від поверхні продукту до ТЕНу знадобилося проведення попередніх дослідів. Інтервали варіювання цих факторів залежать від розподілу теплового потоку у робочому просторі експериментальної установки, тому їх було визначено шляхом проведення попереднього однофакторного експерименту.

Однією з основних умов успішного використання ІЧ-випромінювання для обробки харчових продуктів є забезпечення максимально можливої рівномірності опромінення. Утворення рівномірного теплового потоку на поверхні продукту гарантує стабільність технологічного процесу та високу якість готової продукції [9–11].

Вимірювання щільності теплового потоку уможливило оптимізацію процесів термообробки харчових продуктів, а датчики теплових потоків можуть бути використані як для контролю та регулювання теплових процесів, так і для оцінки щільності променевого теплового потоку випромінювачів для їх вибору та встановлення розміру відстані між продуктом і джерелом ІЧ-випромінювання, виходячи з конкретних умов термообробки та виду харчової сировини.

В процесі ІЧ-смаження продукт знаходиться в умовах складного теплообміну, який містить променеву, конвективну та кондуктивну складові. Дослідити розподіл теплового потоку у робочому просторі можливо за допомогою датчиків, в конструкції яких використовуються термоелектричні приймачі випромінювання.

Сутність проведеного експерименту з визначення розподілу теплового потоку у робочому просторі установки полягла у визначенні динаміки зміни температури за часом у певних точках робочого простору. На рис. 1 наведено схему розміщення точок заміру температури відносно ІЧ-випромінювача.

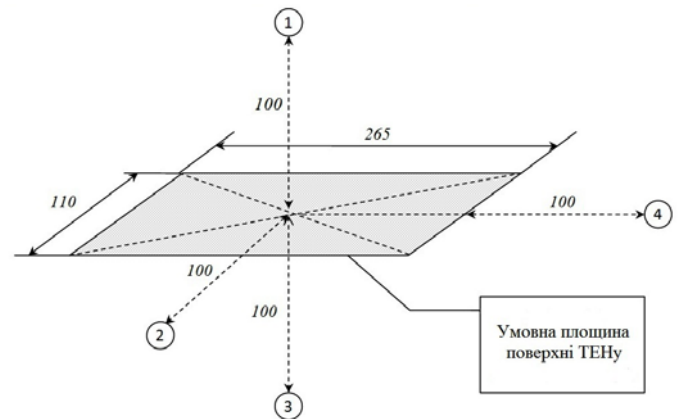


Рис. 1 – Схема розміщення точок заміру температури відносно ІЧ-випромінювача: 1, 2, 3, 4 – місця розміщення термоелектричних датчиків

При проведенні однофакторного експерименту з визначення розподілу теплового потоку у робочому просторі установки проводили смаження напівфабрикату котлети натуральної з курячого філе. В процесі смаження знімали показання температури у п'яти точках. Чотири точки були розташовані у робочому просторі навколо джерела випромінювання (його центру площини), як на рис. 1.

П'ята точка знаходиться у центрі виробу і призначена для контролю процесу обробки. Температуру заміряли за допомогою термодатчиків, які складаються з термопар К-типу під'єднаних до приймачів випромінювання – сталевих пластини, покритих дрібнодисперсною сажею та кремнійорганічним зв'язуючим. Такий склад покриття забезпечує задовільне поглинання в усьому діапазоні ІЧ-випромінювання з коефі-

цінтом 0,95...0,98 та витримує температури до 573 К. Прийнята періодичність проведення замірів – 10 с.

Промисловий досвід свідчить про доцільність проведення теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням у дві стадії. Перша стадія проводиться на максимальній потужності ІЧ-випромінювача до утворення на поверхні виробу характерної кірочки підсмажування (відповідає температурі  $T = 393$  К на поверхні продукту). Друга стадія процесу смаження проводиться на зменшеній потужності ІЧ-нагрівача до досягнення продуктом стану кулінарної готовності (визначається досягненням певної температури усередині продукту, конкретне значення якої характерно для кожного окремого виду харчової сировини).

Фактори активного експерименту варіювали на двох рівнях (-1 і +1) щодо базових значень (0):

$x_1$  – 570 Вт і 870 Вт на I стадії, 270 Вт і 570 Вт на II стадії, інтервал варіювання 150 Вт;

$x_2$  – 0,01 м і 0,02 м, інтервал варіювання 0,005 м;

$x_3$  – 278 К і 288 К, інтервал варіювання 5 К;

$x_4$  – 0,02 м і 0,04 м, інтервал варіювання 0,01 м.

Матриця планування експерименту за методом Бокса-Уілсона представляє собою напіврепліку від повного факторного експерименту (ПФЕ)  $2^{4-1}$ , яка задана генеруючим співвідношенням:  $x_4 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ . Визначальним контрастом є:  $1 = + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$ .

Для виключення впливу систематичних помилок було проведено рандомізацію запланованих дослідів за часом. У дробовому факторному експерименті  $2^{4-1}$  було проведено по два паралельних дослідів для кожного випадку – усього 16 дослідів.

Окрім факторів і параметрів оптимізації процесу, які увійшли до плану активного експерименту, проводили контроль інших важливих показників, які не можуть виступати параметрами оптимізації (температура продукту, К; температура повітря в робочій зоні, К; температури поверхні ТЕНу і решітки, К; початкова і кінцева маса продукту, кг; електрична напруга, В; сила електричного струму, А; витрати часу на процес обробки за стадіями, с).

Для реалізації цілей дослідження було сконструйовано експериментальний стенд, оснащений тепловими, механічними, регулюючими та вимірювальними приладами. Зовнішній вигляд експериментальної установки, її принципова та електрична схеми представлені на рис. 2.

В експериментальній установці передбачено можливість фіксовано змінювати найважливіші параметри процесу за рахунок передбачених елементів конструкції або заміни складових частин. Це дозволяє моделювати процеси теплової обробки харчової продукції, що застосовуються у закладах ресторанного

господарства при використанні серійного ІЧ-обладнання.

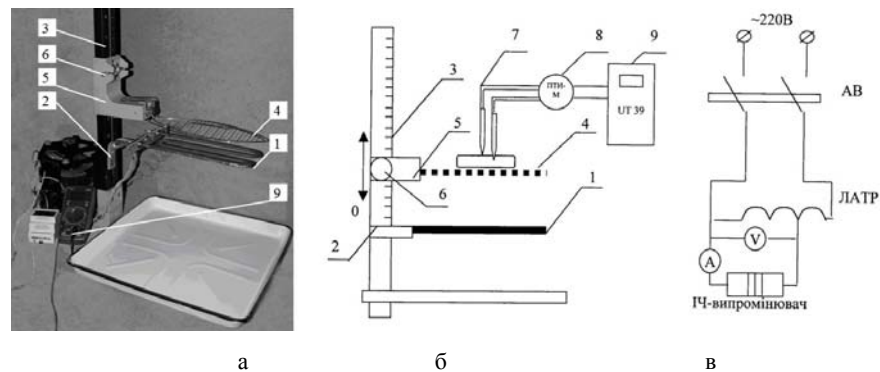


Рис. 2 – Експериментальний стенд для проведення досліджень ІЧ-обробки харчової сировини у відкритому робочому просторі: а – загальний вигляд, б – принципова схема, в – електрична схема: 1 – ІЧ-випромінювач типу ТЕН; 2 – кронштейн; 3 – стійка зі шкалою; 4 – решітка для розміщення продукту; 5 – рухома каретка; 6 – притискні гвинти; 7 – термопар; 8 – багатопозиційний перемикач; 9 – універсальний вимірювальний прилад

Експериментальний стенд дає можливість керувати основними параметрами (споживана ТЕНами потужність, Вт; відстань від продукту до джерела ІЧ-випромінювання, м) та контролювати інші параметри процесу (температури продукту, повітря в робочому просторі, поверхні ТЕНу та решітки, К; початкова та кінцева маси продукту, кг; напруга, В; сила електричного струму, А).

Експериментальний стенд укомплектовано генератором ІЧ-випромінювання – високотемпературним ТЕНом з оболонкою із нержавіючої сталі номінальною потужністю 1500 Вт – позиція 1 на рис. 2, який закріплено на стійці – 3 за допомогою нерухомого кронштейну – 2.

Металева решітка – 4, призначена для розміщення продукту, закріплюється на стійці за допомогою рухомої каретки – 5, положення якої фіксується притискними гвинтами – 6, що дозволяє змінювати відстань між решіткою, на якій розміщено продукт, та джерелом ІЧ-випромінювання. Для фіксованої зміни цієї відстані на стійку нанесено відповідну шкалу.

Для проведення вимірів, контролю та коригування параметрів процесу (теплотехнічних, електричних, геометричних), експериментальну установку оснащено сучасними вимірювальними та регулюючими приладами.

Для зміни величини напруги, що подається на ТЕН, використано лабораторний автотрансформатор ЛАТР (діапазон зміни напруги 0...250 В, максимальна сила струму 9 А).

Для вимірювання та індикації діючого значення напруги перемінного струму застосовано цифровий вольтметр В-0,8К з діапазоном вимірювання 70...400 В та класом точності 0,25. Для вимірювання значень сили електричного струму використано багатofункціональний цифровий вимірювальний прилад УТ39А з діапазоном вимірювання 0,1...20 А та класом точності 3 %.

Зміни температурного поля при смаженні зразків визначали шляхом заміру температури у трьох різних точках усередині продукту з наступним знаходженням середньоарифметичного значення термопарами

К-типу з коефіцієнтом термоЕДС 64-88 мкВ/°С в діапазоні температур 0...600 °С, з діапазоном вимірюваних температур -200...600 °С та максимальною температурою при короткочасному використанні 800 °С. Значення температури отримували за допомогою електронного багатофункціонального пристрою UT39A. Перемикання між термодатчиками здійснювали за допомогою багатопозиційного перемикача типу ПТИ-М. Спаї термопар були поміщені у сталеві голки таким чином, щоб при зануренні у напівфабрикат вони були у безпосередньому контакті з продуктом. Термопари з виводами 7 через багатопозиційний перемикач 8 приєднані до універсального вимірювального приладу 9.

Для забезпечення безпеки при роботі з ПЧ-нагрівачем та здійснення контролю за температурою повітря у робочому просторі експериментальну установку оснащено вимикачем-терморегулятором TR/7 11 N з діапазоном регулювання 50...400 °С.

Для вимірювання значень початкової та кінцевої маси продуктів застосовували електронні ваги SOEHNLE з діапазоном вимірювань 1...5000 г, клас точності III середній, похибка  $\pm 1...2$  г, чого було достатньо для даного технологічного експерименту.

**Обговорення результатів активного експерименту з визначення оптимальних параметрів процесу ПЧ-смаження харчової сировини тваринного походження в умовах відкритого робочого простору.** При обробці експериментальних даних застосовували методи математичної статистики та діяли за певним алгоритмом [11].

Для кожної функції відгуку (параметру оптимізації) за результатами  $n$  паралельних дослідів розраховано середні арифметичні значення параметрів оптимізації та дисперсію дослідів.

Однорідність дисперсій експерименту перевіряли за допомогою G-критерію Кохрена. Табличне значення G-критерію Кохрена при  $\alpha = 0,05$  і ступенях свободи  $f_1 = 1$ ;  $f_2 = 8$  становить 0,68. У такий спосіб дисперсії рядків однорідні у всіх випадках.

Математико-статистична обробка результатів експерименту включала також розрахунки середніх дисперсій параметрів оптимізації, дисперсій коефіцієнтів регресії із визначенням помилки.

Були визначені довірчі інтервали значень коефіцієнтів регресії. При цьому застосовано табличне значення критерію Стюдента при прийнятому рівні значимості та числі ступенів свободи ( $\alpha = 0,05$ ;  $f = 8$ ).

За результатами експерименту обчислювали коефіцієнти моделі. Вільний член  $b_0$ , та коефіцієнти рівнянь регресії  $b_i$ . Коефіцієнти регресії перевірили на значимість, порівнюючи з довірчим інтервалом  $\Delta b_i$ .

Таким чином, для процесу ПЧ-смаження кожного продукту було отримано систему рівнянь. Для кожної системи рівнянь було розраховано дисперсію адекватності та здійснено перевірку адекватності із застосуванням F-критерію Фішера.

В результаті обробки експериментальних даних було отримано такі системи рівнянь:

для напівфабрикатів зі свинини (котлета натуральна):

$$\begin{cases} y_1 = 22,06 - 1,06x_1 + 5,72x_2 - 5,22x_4 \\ y_2 = 1,85 + 0,10x_1 + 0,38x_2 - 0,10x_3 - 0,36x_4 \\ y_3 = 4,29 + 0,41x_1 + 0,94x_2 - 0,14x_3 - 0,96x_4, \end{cases}$$

для напівфабрикатів з яловичини (антрекот):

$$\begin{cases} y_1 = 27,78 - 22,63x_1 + 16,95x_2 - 16,46x_3 - 22,91x_4 \\ y_2 = 1,48 + 1,15x_1 - x_2 \\ y_3 = 0,62 + 0,43x_1 + 0,58x_2 - x_3 - 0,17x_4, \end{cases}$$

для напівфабрикатів з птиці (котлета натуральна з курячого філе):

$$\begin{cases} y_1 = 15,39 - 1,44x_1 - 2,02x_2 \\ y_2 = 3,31 + 0,39x_1 - 0,37x_2 \\ y_3 = 4,43. \end{cases}$$

Отримані емпіричні залежності дозволяють судити про вплив контрольованих факторів на параметри оптимізації. На підставі отриманих систем рівнянь можна сформулювати певні висновки та припущення.

Вагомий вплив на втрати маси ( $y_1$ ) в процесі ПЧ-смаження м'ясних напівфабрикатів має товщина продукту ( $x_2$ ), значення коефіцієнту 5,72 для котлети натуральної зі свинини та 16,95 для антрекоту із яловичини свідчать про пряму залежність. Проте у випадку з курячим філе спостерігається зворотній зв'язок (коефіцієнт дорівнює -2,02), що можна пояснити різними будовою та складом м'яса свинини, яловичини та птиці, а саме низьким вмістом жиру у курячому м'ясі (1,9 г на 100 г істотної частини) в порівнянні з м'ясом свинини та яловичини (відповідно 27,2 г і 9,6 г на 100 г істотної частини), який інтенсивно витоплюється під час ПЧ-смаження, що є основною причиною втрат маси при обробці поряд з випресовуванням та випаровуванням вологи. Проте вміст вологи у продуктах, що досліджуються, суттєво не відрізняється.

Між відстанню продукту до джерела випромінювання ( $x_4$ ) та втратами маси під час обробки ( $y_1$ ) у випадках із котлетою натуральною зі свинини та антрекотом з яловичини спостерігається очевидний зворотний зв'язок (коефіцієнти прийняли значення, відповідно -5,22 та -22,91), що підтверджує апріорні дані й припущення, зроблені на підставі попередніх практичних досліджень, тобто зі збільшенням відстані від продукту до джерела випромінювання, в межах попередньо визначеного інтервалу варіювання, втрати маси під час обробки зменшуються. Для напівфабрикату з курячого філе цей фактор не виявився значимим.

У більшості випадків потужність, яка подається на ТЕН ( $x_1$ ), має менший вплив на втрати маси під час обробки, ніж вже розглянуті фактори. Але цей вплив є неоднозначним – зі збільшенням потужності в межах інтервалів варіювання кінцеві втрати маси менші. Ускладнює завдання те, що процес складався з двох стадій, на яких потужність істотно змінювалася, тому в експерименті ми використовували усереднені значення, що накладає відбиток на кінцеві результати.

Згідно з отриманими залежностями, такий фактор, як початкова температура продукту ( $x_3$ ) впливає



на втрати маси лише при обробці антрекоту з яловичини, при цьому спостерігається зворотній зв'язок. Це можна пояснити відносно високою температурою плавлення яловичого жиру (42...52 °С) проти температури плавлення свинячого жиру (36...42 °С), а куряче філе, як вже було сказано, має дуже низький вміст жиру.

На загальні витрати електроенергії в процесі обробки ( $y_1$ ) у випадку з котлетою натуральною зі свинини мають вплив всі фактори, які враховувалися в експериментальному дослідженні, що є цілком закономірним. Найбільший і приблизно однаковий вплив, як і у випадку з попереднім параметром, мають товщина продукту та відстань від продукту до джерела нагрівання, коефіцієнти відповідно +0,38 і -0,36; менший вплив мають споживана потужність і початкова температура продукту, коефіцієнти відповідно +0,10 і -0,10. Цікаво, що фактори потужність, що подається на ТЕН, та товщина продукту в процесі обробки напівфабрикатів зі свинини та курки здійснюють подібний вплив, а відстань між продуктом і джерелом випромінювання та початкова температура продукту не виявилися значущими.

На органолептичні властивості кінцевого продукту у випадку з напівфабрикатами зі свинини та яловичини мають значний вплив всі досліджувані фактори. Між органолептичною оцінкою та товщиною продукту спостерігається прямий зв'язок, коефіцієнти відповідно +0,94 та +0,58. Можна припустити, що збільшення товщини напівфабрикату в межах інтервалу варіювання сприяє більш рівномірному приготуванню без інтенсивного випресовування вологи та жиру, що підвищує смакові властивості готового продукту. Між органолептичними властивостями та відстанню від продукту до джерела випромінювання спостерігається зворотній зв'язок, коефіцієнти відповідно -0,96 та -0,17. Було помічено, що менша відстань до джерела випромінювання сприяє утворенню характерної кірочки, властивій смаженим продуктам, чи гриль-продукції, що робить продукт апетитним і привабливим для споживання. Вплив на органолептичні показники здійснюють потужність, що подається на ТЕН (коефіцієнти відповідно +0,41 та +0,43) та початкова температура продукту (коефіцієнти відповідно -0,14 та -0,10). Як бачимо коефіцієнти для цих факторів є майже ідентичними, що підтверджує репрезентативність результатів експерименту в даному випадку. Підвищення потужності ТЕНу прискорює обробку і сприяє утворенню кірочки підсмажування, що сприяє підвищенню органолептичної оцінки. Підвищення початкової температури напівфабрикату, навпаки, здійснює негативний вплив на органолептичну оцінку кінцевого продукту. Що потребує ще додаткового вивчення.

**Висновки.** Отримані емпіричні залежності дозволяють судити про вплив факторів, що досліджувалися, на параметри оптимізації. Надалі дослідження будуть спрямовані на перевірку отриманих залежностей і впровадження результатів на практиці. Після отримання підсумкових узагальнених рівнянь можливо буде з достатньою точністю визначати оптимальні

параметри процесу, ступінь впливу кожного фактору, що досліджується, а також враховувати вплив ефектів міжфакторної взаємодії. Це дозволить розробити практичні рекомендації для виробничих умов та удосконалити технологічні апарати, призначені для ІЧ-смаження (грилювання). Також планується проведення досліджень аналогічного процесу для інших груп харчової сировини, гідробіонтів та продуктів рослинного походження.

**Список літератури:** 1. Карсекина, В. В. Совершенствование технологии производства продукции общественного питания [Текст] / В. В. Карсекина, В. Х. Бердичевский, Е. В. Мельничук. – К. : Техніка, 1989. – 207 с. 2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд. 2-е, стереотип. – М. : Энергия, 1977. – 344 с. 3. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] : Учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1981 – 416 с. 4. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий: для предприятий обществ. питания [Текст] / Авт. сост.: А. И. Здобнов, В. А. Цыганенко, М. И. Пересичный. – К. : А.С.К., 2001. – 656 с. 5. Алёхина, Л. Т. Технология мяса и мясопродуктов [Текст] / Л. Т. Алёхина, А. С. Большаков, В. Г. Боресков и др.; под ред. И. А. Rogov. – М. : Агропромиздат, 1988. – 576 с. 6. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с. 7. Тильгнер, Д. Е. Органолептический анализ пищевых продуктов [Текст] / Д. Е. Тильгнер. – М. : Пищепромиздат, 1962 – 388 с. 8. ГОСТ 9959-91. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки. – Введ. 01.01.92. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 7 с. 9. Food processing operations modeling. Design and analysis [Text] / [second edition] : edited by Soojin Jun, Joseph M. Irudayaraj. – London, New York : CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 2009. – 340 p. 10. Rogov, I. A. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов [Текст] / И. А. Rogov. – М. : Агропромиздат, 1988. – 272 с. 11. Топольник, В. Г. Поиск оптимальных условий процессу теплової обробки напівфабрикатів зі свинини ІЧ-випромінюванням в умовах відкритого робочого простору [Текст] / В. Г. Топольник, Ю. М. Коренець // Вісник ДонНУЕТ. Сер.: Техн. науки. – 2009. – № 1 (41) - С. 91-99.

**Bibliography (transliterated):** 1. Karsekina, V. V., Berdichevskii V. H., Melnichuk E. V. (1989). Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva produktsii obshhestvennogo pitaniya [Improvement of production technology products socio nutrition]. Kiev, Ukraine: Tekhnika, 207. 2. Mikheev, M. A., Mikheeva, I. M. (1977). Osnovy teploperedachi [Fundamentals of heat]. Moscow, Russia: Energiya, 344. 3. Isachenko, V. P., Osipov V. A., Sukomel, A. S. (1981). Teploperedacha : Uchebnyk dlya vuzov [Heat transfer : Textbook for Universities.]. Moscow, Russia: Energoizdat, 416. 4. Zdobnov, A. I., Cyganenko, V. A., Peresichnyj, M. I. ed. (2001). Sbornik receptur blyud i kulinarnykh izdelij: dlya predpriyatij obshhestv. pitaniya. Kiev, Ukraine, A.S.K., 656. 5. Alyoxina, L. T., Bolshakov, A. S., Boreskov, V. G. and etc. Rogov, I. A. ed. (1988). Tekhnologiya myasa i myasoproduktov [Technology of meat and meat products]. Moscow, Russia: Agropromizdat, 576. 6. Adler, Y. P., Markova, E. V., Hranovskii, Yu. V. (1976). Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy [Planning of experiment in finding the optimal conditions]. Moscow, Russia: Nauka, 280. 7. Tylhner, D. E. (1962). Organolephticheskiy analiz pishhevyykh produktov [Sensory analysis of food products]. Moscow, Russia: Pyschepromyzzdat, 388. 8. (1992). GOST 9959-91. Produkty myasnyye. Obshhie usloviya provedeniya organolephticheskoy ochenki [Meat products. General terms of sensory evaluation]. Key. 1.1.92. Moscow, Russia: Izd-vo standartov, 7. 9. Soojin Jun, Joseph M. Irudayaraj ed. (2009). Food processing operations modeling. Design and analysis [second edition]. London, New York: CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 340. 10. Rogov, I. A. (1988). Elektrofizicheskie metody obrabotki pishhevyykh produktov [Electrophysical methods of food processing]. Moscow, Russia: Agropromizdat, 272. 11. Topolnyk, V. G., Korenets, Yu. N. (2009). Poisk optimalnykh usloviy processa teplovoj obrabotki polufabrikatov iz svinyiny IK-izlucheniem v usloviyax otkrytogo rabocheho prostranstva [Search the optimum conditions of heat treatment process semi pork infrared radiation in the open workspace]. Vestnik DonNUET. Ser.: Tehn. nauki, 1 (41) , 91-99.

Надійшла (received) 27.05.2015

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Никифоров Радіон Петрович** – кандидат технічних наук, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, доцент кафедри технологій в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи; тел.: 050-473-68-28; e-mail: [nikradion@yandex.ua](mailto:nikradion@yandex.ua).

**Никифоров Радіон Петрович** – кандидат технических наук, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михайла Туган-Барановского, доцент кафедры технологии в ресторанном хозяйстве и отельного-ресторанного дела; тел.: 050-473-68-28; e-mail: [nikradion@yandex.ua](mailto:nikradion@yandex.ua).

**Nikiforov Radion Petrovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Donetsk National University of the Economics and Trade named after Mykhajlo Tugan-Baranovsky, Associate Professor at the Department of technologies restaurant business and hotel and restaurant business; tel.: 050-473-68-28; e-mail: [nikradion@yandex.ua](mailto:nikradion@yandex.ua).

**Коренець Юрій Миколайович** – старший викладач, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, кафедра технологій в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи; тел.: 050-812-99-78; e-mail: [yurii\\_korenets@mail.ru](mailto:yurii_korenets@mail.ru).

**Коренець Юрій Николаевич** – старший преподаватель, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михайла Туган-Барановского, кафедра технологии в ресторанном хозяйстве и отельного-ресторанного дела; тел.: 050-812-99-78; e-mail: [yurii\\_korenets@mail.ru](mailto:yurii_korenets@mail.ru).

**Korenets Yuriy Nikolaevych** – Senior Lecturer, Donetsk National University of the Economics and Trade named after Mykhajlo Tugan-Baranovsky, Department of technologies restaurant business and hotel and restaurant business; tel.: 050-812-99-78; e-mail: [yurii\\_korenets@mail.ru](mailto:yurii_korenets@mail.ru).

УДК 62.52

**А. А. ШАБЕЛЬНИКОВ****ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ *SECU-3***

В статье проведены исследования и разработан электронный блок управления двигателем внутреннего сгорания *SECU-3*, встроенное программное обеспечение (ПО) к нему и ПО для его настройки и диагностики, выполняемое на персональном компьютере. Описан принцип расчета длительности впрыска, алгоритм коррекции состава топливовоздушной смеси по избытку воздуха, структурная и принципиальная электрическая схемы блока. В ближайшем будущем планируется разработать новую схему и печатную плату блока, в которую будут интегрированы данные устройства.

**Ключевые слова:** впрыск, зажигание, детонация, датчик, актюатор, микроконтроллер, управление, двигатель, автомобиль, *SECU-3*

**Введение.** Несмотря на стремительное развитие автомобильной отрасли и совершенствование конструкции систем управления двигателем внутреннего сгорания (ДВС) по разным причинам в эксплуатации продолжают оставаться автотранспортные средства, которые не отвечают современным требованиям к токсичности выхлопных газов и экономии топлива [1]. Такие транспортные средства, как правило, можно разделить на 2 типа. Первый, это те, в которых изначально было не предусмотрено электронное управление впрыском топлива и/или зажиганием. Как правило, это карбюраторные автомобили, по большей части отечественного производства или производства стран бывшего СССР.

Второй тип это автомобили, привезенные из-за рубежа, в которых штатные системы, управляющие двигателем (впрыском, зажиганием и т. д.), вышли из строя и не могут быть заменены. В связи с этим возникает необходимость модернизации и/или переоборудования двигателей таких транспортных средств. В таком случае нужен специальный программно-аппаратный комплекс.

При этом, электронные блоки управления, устанавливаемые на серийные автомобили, как правило, узко специализированы, рассчитаны на использование определенных датчиков и исполнительных устройств, а также завязаны на число цилиндров, тип двигателя и марку автомобиля. Кроме того, такие блоки лишены возможности гибкой настройки и изменения даже самых важных параметров системы, не говоря уже о настройке параметров в реальном вре-

мени. А если такая возможность и существует, то ПО от сторонних компаний стоит недешево.

Это объясняется тем, что разброс основных характеристик серийно производимого двигателя достаточно небольшой, поэтому производителю достаточно иметь данные стендовых испытаний, полученных на этапе разработки двигателя, чтобы использовать их во всех электронных блоках управления для ДВС данной модели. В открытом доступе такой информации практически нет, особенно для старых карбюраторных двигателей. В этом случае необходимо иметь возможность изменять параметры системы, получая в реальном времени данные для анализа. И хотя многими компаниями выпускаются электронные блоки управления с широкими возможностями, их продукция, как правило, ориентирована на узкий сегмент автотранспорта, в основном, на спортивные автомобили. И это еще одна причина высокой стоимости таких блоков управления.

Одной из целей, преследуемых при разработке блока *SECU-3* [2], является снижение его стоимости и обеспечение доступности комплектующих. Особенно существенным является то, что исходный код программы (ПО) и вся документация к блоку находится в открытом доступе [2]. Автору известны только два аналогичных проекта с открытым кодом ПО [3; 4].

**Цель работы.** Целью работы является проведение исследований и разработка электронного блока для управления бензиновым двигателем внутреннего сгорания, в частности зажиганием и впрыском топлива.

© А. А. Шабельников. 2015