



Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького
Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies named after S.Z. Gzhytskyj

doi:10.15421/nvlvet7527

ISSN 2519–268X print
ISSN 2518–1327 online

<http://nvlvet.com.ua/>

УДК 641.512+532.135

Дослідження процесу гідроструминної водоолімерної обробки харчових продуктів різанням

А.В. Погребняк
Pogrebnyak.AV@mail.ru

*Харківський державний університет харчування та торгівлі,
вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна;
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна*

Досліджували закономірності процесу гідрорізання харчових продуктів з метою підвищення його ефективності шляхом модифікації робочої рідини. Вплив відстані від зрізу сопла до поверхні харчового продукту на глибину різку вивчали при температурі -7 і -25 °С, зміні тиску від 50 до 150 МПа, діаметру сопла $0,35 \cdot 10^{-3}$ і $0,60 \cdot 10^{-3}$ м, швидкості переміщення гідроструменя щодо харчового продукту 0,015; 0,025; 0,050 та 0,100 м/с. Використовували узагальнений аналіз експериментальних даних, методи теорії подібності й розмірності, а також методи математичної статистики. Отримана розрахункова залежність в безрозмірному вигляді для визначення глибини різку в харчовому продукті з урахуванням його міцності на одновісне стискання, оптимальної відстані між зрізом сопла і поверхнею продукту, діаметра сопла, молекулярної маси і концентрації поліетиленоксиду, а також гідравлічних і режимних параметрів гідроструменя, швидкості переміщення струменя і якості його формування. Досліджували вплив концентрації поліетиленоксиду на глибину і продуктивність різання харчових продуктів при -25 °С водоолімерним струменем з тиском витікання 100 МПа і діаметром сопла $0,35 \cdot 10^{-3}$ м. Експериментально доведено, що використання в якості робочої рідини водних розчинів ПЕО підвищує оптимальну відстань між поверхнею харчового продукту і зрізом сопла в 15 разів, глибину різку – в 4 рази при швидкості різку 0100 м/с.

Ключові слова: харчові продукти; гідрорізання; глибина різку; ширина різку; якість поверхні розрізу; полімерний розчин; поліетиленоксид.

Исследование процесса гидроструйной водоолімерной обработки пищевых продуктов резанием

А.В. Погребняк
Pogrebnyak.AV@mail.ru

*Харьковский государственный университет питания и торговли,
ул. Клочковского, 333, г. Харьков, 61051, Украина;
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,
ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина*

Исследовали закономерности процесса гидрорезания пищевых продуктов с целью повышения его эффективности путем модификации рабочей жидкости. Влияние расстояния от среза сопла до поверхности пищевого продукта на глубину реза изучали при температуре -7 и -25 °С, изменении давления от 50 до 150 МПа, диаметре сопла $0,35 \cdot 10^{-3}$ и $0,60 \cdot 10^{-3}$ м, скорости перемещения гидроструи относительно пищевого продукта 0,015; 0,025; 0,050 и 0,100 м/с. Использовали обобщенный анализ экспериментальных данных, методы теории подобия и размерностей, а также методы математической статистики. Получена расчетная зависимость в безразмерном виде для определения глубины реза в пищевом продукте с

Citation:

Pogrebnyak, A. (2017). Research of the Hydro-jet Water-polymer Processing of Food Products by Cutting. *Scientific Messenger LNUVMBT named after S.Z. Gzhytskyj*, 19(75), 134–139.

учетом его прочности на одноосное сжатие, оптимального расстояния между срезом сопла и поверхностью продукта, диаметра сопла, молекулярной массы и концентрации полиэтиленоксида, а также гидравлических и режимных параметров гидроструи, скорости перемещения струи и качества ее формирования. Исследовали влияние концентрации полиэтиленоксида на глубину и производительность резания пищевых продуктов при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ водополлимерной струей с давлением истечения 100 МПа и диаметром сопла $0,35\cdot 10^{-3}$ м. Экспериментально доказано, что использование в качестве рабочей жидкости водных растворов ПЭО повышает оптимальное расстояние между поверхностью пищевого продукта и срезом сопла в 15 раз, глубину реза – в 4 раза при скорости реза 0,100 м/с.

Ключевые слова: пищевые продукты; гидрорезание; глубина реза; ширина реза; качество поверхности разреза; полимерный раствор; полиэтиленоксид.

Research of the Hydro-jet Water-polymer Processing of Food Products by Cutting

A. Pogrebnyak
Pogrebnyak.AV@mail.ru

Kharkiv State University of Food Technology and Trade,
Klochkivska Str., 333, Kharkiv, 61051, Ukraine;
National Technical University of Oil and Gas,
Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

The article deals with the regularities of the frozen foodstuff hydrocutting to increase its efficiency and to improve the quality of cut surface by working liquid modification. The influence of the distance from the nozzle edge to the surface of the food product on the cutting depth is investigated at $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, pressure change from 50 MPa to 150 MPa, $0.35\cdot 10^{-3}$ m and $0.60\cdot 10^{-3}$ m nozzle diameter, the speed of waterjet movement over the foodstuff being 0.015 m/s; 0.025 m/s; 0.050 m/s, and 0.100 m/s. Generalized analysis of experimental data, the methods of dimensional and statistical analysis is used. A non-dimensional dependence for selecting cutting depth of foodstuff taking into account its strength properties, optimum distance between nozzle edge and food surface, nozzle diameter, as well as waterjet hydraulic and operating parameters waterjet movement speed of and quality of its formation, is shown. Experimental data show that when water jet speed increases cutting surface increment speed also increases, reaches a maximum and then starts decreasing, regardless of the temperature of the food product, water pressure, and nozzle diameter. The influence of polyethylene oxide concentration on cutting depth and rate for food frozen at $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ by pressure water-polymer jet of 100 MPa flow pressure and $0.35\cdot 10^{-3}$ m nozzle diameter is investigated. It is received that rational cutting speed increases more than twice with increasing PEO concentration in water and reaches its maximum at 0.0013% when PEO molecular mass is $6\cdot 10^6$ and 0.007% for molecular mass of $4\cdot 10^6$. It is experimentally proved that when polyethyleneoxide water solutions as a working liquid are used the optimum distance between nozzle edge and food surface increases 15 times, cutting depth at cutting speed of 0.100 m/s – 4 times, and the quality of the cut surfaces is also improved.

Key words: foodstuff; hydrocutting; cutting depth; cutting width; quality of cut surface; polymer solution; polyethyleneoxide.

Вступ

Проблема розробки інноваційного різального устаткування залишається однією з важливих проблем розв'язання харчової промисловості. Методи та устаткування, які застосовуються сьогодні мають такі істотні недоліки: небезпечні під час обслуговування устаткування; високий рівень шуму та вібрації; низький рівень санітарної безпеки; внаслідок руйнування та стирання робочого інструменту частки металу можуть потрапляти в продукт; швидка затуплюваність і необхідність заточування, а надалі заміни робочого органа; велика ширина різання та утворення стружки, що призводить до додаткової втрати продукту; виникають проблеми під час розрізання харчових продуктів, що мають температуру нижче ніж $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ та ін. (Zapletnikov and Pohrebniak, 2013).

XX століття збагатило людство великими відкриттями. До них відноситься і гідрорізання, яке ще 25 років тому називали технологією майбутнього. Сьогодні ця технологія вже працює у багатьох галузях промисловості (Zajakin, 2003; Salenko et al., 2005). Якщо тонким водяним струменем викликати ерозію матеріалу, збільшивши енергію струменя за рахунок підвищення її швидкості, то можна отримати ефект

розрізання будь-якого матеріалу (Pogrebnyak, 2008). Тому як альтернативний спосіб розрізання харчових продуктів, особливо, за низьких температур, може стати процес гідрорізання, який виключає вказані вище недоліки.

Головною причиною широкого поширення методу гідрорізання є його висока технологічність, порівняно з традиційними методами різання. Проте в харчовій промисловості метод гідрорізання як в Україні, так і країнах СНД практично не використовується. Головною причиною, чому метод гідрорізання не застосовується в харчовій промисловості, є відсутність комплексних наукових досліджень процесу гідрорізання харчових продуктів, а отже і розробок устаткування для його реалізації (Pohrebniak and Perkun, 2013). У зв'язку з цим, з точки зору наукової новизни, цей метод викликає значний інтерес.

Окремо виділимо одну з головних переваг waterjet-технології – можливість комп'ютерного управління процесом гідрорізання, що дозволяє здійснити 3D обробку харчових продуктів. Гідрорізальна струмінноформуюча голівка за допомогою сервоприводів може переміщатися в 3-х напрямках, обробляючи харчовий продукт з різних боків. При цьому розрізи можуть виходити будь-якої складності, у будь-якому

місії і із запрограмованою зміною параметрів гідрорізання харчових продуктів. Це дозволить, наприклад, традиційну роботизовану лінію первинної обробки – конвеєр, зменшити до однієї (чи декількох) обробної точки, в якій гідрорізальна струминоформуюча голівка робитиме відразу декілька операцій.

Сьогодні для впровадження waterjet-технології в харчову промисловість потрібне придбання дорогого устаткування високого тиску, що вимагає не лише значних одноразових витрат, а й витрат на його подальше обслуговування. Вказана обставина – високі робочі тиски, отже, висока вартість устаткування, а також малі швидкості переміщення водяного струменя, що не забезпечують максимальної продуктивності з найменшими енерговитратами на формування струменя і стали визначальними в постановці завдання розробки високоефективного процесу гідроструминної обробки харчових продуктів різанням.

При гідрорізанні харчових продуктів як різальний орган використовується високошвидкісний тонкий струмінь рідини. Від властивостей робочої рідини залежить здатність отримання необхідних гідродинамічних характеристик гідроструменя, що забезпечують максимальну продуктивність і найкращу якість поверхні розрізу з найменшими енерговитратами на формування струменя. Тому вибір типу і складу робочої рідини є одним з основних питань, які необхідно вирішувати під час розробки технологічного процесу гідроструминної обробки харчових продуктів різанням.

До вирішення завдання підвищення ефективності процесу гідроструминної обробки харчових продуктів різанням можна підійти, використовуючи для цього спостережувані «аномалії» при подовжній течії розчинів полімерів, яке реалізується у вхідній ділянці сопла (Pogrebnyak, 2014; Pogrebnyak and Ivanyuta, 2015; Deynichenko et al., 2015; Pogrebnyak and Deynichenko, 2016), у їх гідродинамічній поведінці. Тому підвищити ефективність процесу гідрорізання можна, якщо ріжучий харчовий продукт водяний струмінь замінити на водополімерний (Pogrebnyak and Ivanyuta, 2014).

Метою статті є експериментальне підтвердження «аномально» високої ефективності процесу гідроструминної обробки харчових продуктів різанням за умов використання розчинів ПЕО як робочої рідини для розрізання харчових продуктів.

Матеріали і методи дослідження

Полімер, який використовується для формування водополімерного струменя, має бути безпечною речовиною та дозволеним для використання в харчовій промисловості. Таким полімером є поліетиленоксид (ПЕО), що використовується в харчовій промисловості як загусник, флокулянт та ін.

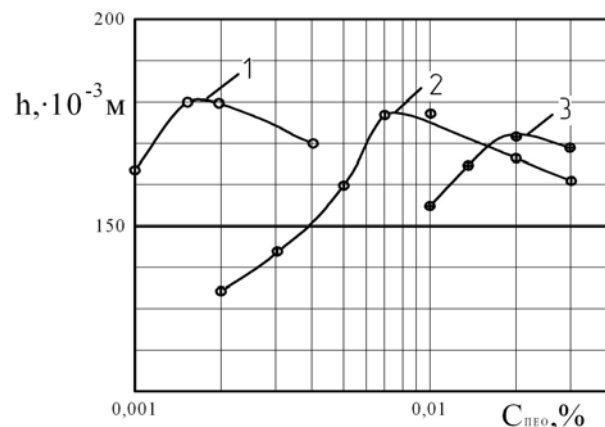
Обробка харчових продуктів різанням здійснювалась на гідрорізальній установці УРГ-3020 з робочими тисками до 500 МПа, з можливістю змінювати та контролювати як інтегральні, так і диференціальні параметри процесу гідрорізання. Експериментальне дослідження впливу відстані від зрізу сопла до повер-

хні харчового продукту l_0 на глибину різі h проводили на зразках м'яса яловичини і свинини, а також філе риби хека і курки бройлера за температур t від кімнатної до $-25\text{ }^\circ\text{C}$ та зміни тиску ΔP_0 від 50МПа до 150МПа, діаметру сопла d_0 , $0,35 \cdot 10^{-3}$, $0,6 \cdot 10^{-3}$ м і швидкості переміщення водополімерного струменя щодо зразка харчового продукту V_n 0,015, 0,025, 0,050 і 0,100 м/с. В експериментах використовували водні розчини ПЕО молекулярних мас – $3 \cdot 10^6$, $4 \cdot 10^6$ та $6 \cdot 10^6$. Концентрація ПЕО молекулярних мас $M_{\text{ПЕО}}$ $3 \cdot 10^6$, $4 \cdot 10^6$ і $6 \cdot 10^6$ у водному розчині варіювалася від 0 до 0,05%. Відстань від сопла до поверхні харчового продукту, що розрізається l_0 , змінювалася від $2 \cdot 10^{-3}$ до $100 \cdot 10^{-3}$ м.

Для вивчення впливу негативних температур у широкому діапазоні на фізико-механічні властивості (твердість, граничне напруження зрізу і межа міцності при одновісному стискуванні) зразків заморожених харчових продуктів було розроблено і реалізовано спеціальні системи термостатування і стабілізації низької температури.

Результати та їх обговорення

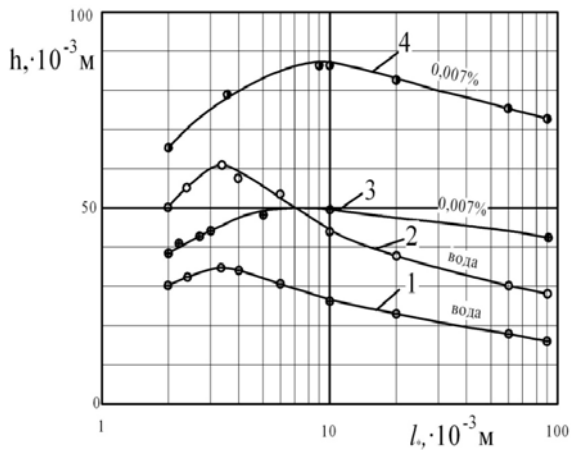
На рисунку 1 наведена залежність глибини різі в філе риби хека, що має температуру $-25\text{ }^\circ\text{C}$ від відстані між його поверхнею і зрізом сопла за різних концентрацій ПЕО в воді. Видно, що глибина різі в філе риби хека досить різко зростає зі збільшенням концентрації ПЕО в водополімерному струмені і досягає максимуму при досягненні деякої оптимальної величини. Для ПЕО молекулярної маси $3 \cdot 10^6$ оптимальна концентрація дорівнює $0,15 \pm 0,20\%$, а для молекулярних мас $4 \cdot 10^6$ і $6 \cdot 10^6$ – $0,007 \pm 0,01\%$ та $0,0015 \pm 0,0020\%$ відповідно.



$t = -25\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta P_0 = 100\text{ МПа}$, $d_0 = 0,6 \cdot 10^{-3}\text{ м}$, $V_n = 25 \cdot 10^{-3}\text{ м/с}$, $l_0 = l_{\text{опт}}$; $M_{\text{ПЕО}}$: 1 – $3 \cdot 10^6$, 2 – $4 \cdot 10^6$, 3 – $6 \cdot 10^6$

Рис. 1. Залежність глибини різі в філе риби хека від концентрації ПЕО у водополімерному струмені

Дані, що характеризують вплив відстані від зрізу сопла до поверхні харчових продуктів на глибину різі, наведені на рис. 2 (для м'яса свинини). Водополімерний струмінь мав концентрацію ПЕО, яка дорівнювала оптимальній величині.



$t = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\Delta P_0 = 100\text{ МПа}$; $d_0 = 0,35 \cdot 10^{-3}\text{ м}$; $V_{п. 1 \text{ и } 3} = 100 \cdot 10^{-3}\text{ м/с}$, $2 \text{ и } 4 = 50 \cdot 10^{-3}\text{ м/с}$;

Рис. 2. Залежність глибини різку водополімерним струменем у м'ясі свинини від відстані між його поверхнею до різку сопла

Видно, що залежність глибини різку h від відстані між зрізом сопла і поверхнею замороженого харчового продукту l_0 проходить через максимум. Такий характер залежності h від l_0 зберігається для різних умов експерименту, тобто для всіх досліджених нами тисків водного розчину ПЕО ΔP_0 , діаметрів сопел d_0 і швидкостей переміщення водополімерного струменя щодо зразків заморожених харчових продуктів $V_{п.}$. При відносно малих відстанях від 0 до $l_{0\text{opt}}$ збільшення глибини різку зі зростанням відстані від зрізу сопла до поверхні замороженого харчового продукту відбувається, мабуть, внаслідок того, що процес струминоформування закінчується не безпосередньо біля зрізу сопла, а на деякій відстані від нього, рівній $l_{0\text{opt}}$. При цьому відстань $l_{0\text{opt}}$ є з цієї точки зору раціональною.

Отримані експериментальні результати, які показують, як змінюється безрозмірна глибина розрізу h/h_{max} в заморожених харчових продуктах від безрозмірної відстані до зрізу сопла l_0/d_0 описується функцією, що має максимум у ділянці безрозмірної відстані від сопла, яке залежить від довжини початкової ділянки $l_{н.с}$ (Zarletnikov and Pohrebniak, 2010) водополімерного струменя.

Залежність $l_{0\text{opt}}$, яка відповідає максимуму на кривих $h/h_{\text{max}} = f(l_0/d_0)$, від діаметра сопла d_0 і довжини початкової ділянки $l_{н.с}$ водополімерного струменя, отримана емпірично з коефіцієнтом варіації в межах $10 \div 15\%$ виглядає в безрозмірному вигляді наступним чином:

$$\frac{l_{0\text{opt}}}{d_0} = \frac{l_{н.с} \cdot \dot{\epsilon} \cdot \theta_c}{2 \cdot e \cdot d_0}, \quad (1)$$

де e – основа натурального логарифму;

$\dot{\epsilon}$ – подовжній градієнт швидкості у вхідній ділянці сопла;

θ_c – час релаксації водного розчину ПЕО.

За $\dot{\epsilon} \theta_c < 1$ початкова ділянка водополімерного струменя $l_{н.с}$ дорівнює початковій ділянці водяного струменя $l_{н.}$. Формула (1) має наступні межі застосу-

вання: водні розчини ПЕО повинні задовольняти критерію концентрованості за Дебаєм – $[\eta]_0 \cdot C_{\text{п.ео}} < 1$, а величина після перемноження подовжнього градієнта швидкості у вхідній області сопла на час релаксації θ_c водного розчину ПЕО відповідати умові – $1 \leq \dot{\epsilon} \theta_c < 10$.

Збільшення відстані l_0 більш $l_{0\text{opt}}$, в результаті взаємодії водополімерного струменя з повітрям, призводить до поступової втрати кінетичної енергії струменя, його діаметр збільшується, а величина осевого динамічного впливу на зразок харчового продукту зменшується, що і призводить до зменшення глибини різку. При досягненні деякого граничного значення відстані від зрізу сопла до поверхні харчового продукту $l_{\text{гран}}$ процес розрізання припиняється.

У таблиці наведено ширину різку в замороженому м'ясі за температури $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ залежно від відстані між поверхнею м'яса і зрізом сопла. Дані таблиці свідчать, що водополімерний струмінь має кращі, ніж водяний струмінь, гідродинамічні характеристики, що і забезпечує високу продуктивність за умови високої якості поверхні розрізу в м'ясі.

Таблиця

Вплив відстані між поверхнею м'яса і зрізом сопла на ширину різку водополімерним і водяним струменями

Робоча рідина	Ширина різку b для різних $l_0, \cdot 10^{-3}\text{ м}$				
	10	20	40	60	90
Водний розчин ПЕО	0,36	0,37	0,39	0,41	0,45
Вода	0,45	0,50	0,57	0,62	0,77

($C_{\text{ПЕО}} = 0,007\%$; $\Delta P_0 = 100\text{ МПа}$; $d_0 = 0,35 \cdot 10^{-3}\text{ м}$)

Так, наприклад, якщо струмінь води із заданою продуктивністю забезпечує високоякісний розріз у замороженому харчовому продукті за $l_0 = l_{0\text{opt}}$, то струмінь водного розчину ПЕО дозволяє одержати зі збереженням продуктивності ту ж глибину розрізу й таку ж якість поверхні розрізу на відстані в 15 разів більший. Це дає можливість різати не тільки товстіші шматки харчового продукту, а й розрізати шматки, конфігурація яких не дозволяє підвести їхні поверхні безпосередньо до струминоформуючої голівки або одержувати необхідні технологічні параметри за значно менших тисків.

Дослідження впливу концентрації ПЕО на продуктивність різання замороженого м'яса при $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ водополімерним струменем з тиском витікання 100 МПа і діаметром сопла $0,35 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ показало, що раціональна швидкість різку значно зростає зі збільшенням концентрації ПЕО у воді й досягає максимуму за деякої оптимальної величині $C_{\text{ПЕО}}$. Експериментально було отримане значення (яке виходить за межі можливості гідроустановки) підвищення раціональної швидкості переміщення гідроструменя відносно зразка харчового продукту під час його розрізання за рахунок добавок у воду ПЕО з молекулярною масою $4 \cdot 10^6$.

Експериментально було встановлено, що якщо швидкість різку є більшою, ніж раціональне її значення ($V_{п.} > V_{п. \text{рац.}}$), то в процесі гідрорізання замороженого харчового продукту профіль розрізу набуває слабо

вираженої V-подібної форми, а за дуже низької швидкості різання ($V_n \ll V_{п.рац}$) має профіль A-подібної форми. Гідрорізання замороженого харчового продукту з раціональною швидкістю або близькою до раціональної приводить до формування розрізу П-подібної форми.

Узагальнений аналіз отриманих нами експериментальних даних, що характеризують процес гідроструминної водополімерної обробки харчових продуктів (філе риби хека і курки бройлера, м'яса свинини і яловичини) різанням з використанням методів теорії подібності й розмірності, скейлінгу, а також методів математичної статистики дозволили отримати розрахункову залежність в безрозмірному вигляді для визначення глибини різі h в заморожених харчових продуктах з урахуванням їх міцності на одновісне стискування $\sigma_{зж}$, оптимальної відстані $l_{омт}$ між зрізом сопла і поверхнею харчового продукту, а також гідралічних ΔP_o і режимних параметрів V_o струменя водного розчину ПЕО, швидкості переміщення водополімерного струменя V_n і якість його формування $l_{н,с}$ в такому вигляді:

$$\frac{h}{d_o} = \frac{\Delta P_o}{\sigma_{зж}} \cdot \left(\frac{l_o}{l_{омт}} \right)^{-0,25} \cdot \left(\frac{V_o}{V_n} \right)^{0,75} \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

$$\frac{l_{омт}}{d_o} = \frac{l_{н,с}}{2 \cdot e \cdot d_o} \cdot \theta_0 e^k \cdot \frac{2 \cdot Q \cdot \text{tg} \frac{\beta^\circ}{2}}{A \cdot d_k}$$

де e – основа натурального логарифму, $k = [\eta]_0 \cdot C_{пзо}$

Вплив молекулярної маси ПЕО та його концентрації у водополімерному струмені рівняння (2) враховує залежність часу релаксації $\theta_c = \theta_0 e^k$ (θ_0 – час релаксації за безкінцевим розведенням) водних розчинів ПЕО от $M_{пео}$ и $C_{пео}$. За $\dot{\epsilon} \theta_c < 1$ початкова ділянка водополімерного струменя $l_{н,с}$ дорівнює початковій ділянці водяного струменя l_n . Формула (2) має такі межі застосування: водні розчини ПЕО повинні задовольняти критерій концентрованості за Дебаєм – $[\eta]_0 \cdot C_{пзо} < 1$, а величина після перемноження подовж-

нього градієнта швидкості $\dot{\epsilon} = \frac{2 \cdot Q \cdot \text{tg} \frac{\beta^\circ}{2}}{A \cdot d_k}$ у вхідній

ділянці сопла на час релаксації θ_c водного розчину ПЕО задовольняти умову – $1 \leq \dot{\epsilon} \theta_c < 10$. Важливою особливістю рівняння (2) є те, що воно враховує якість формування струменя $l_{н,с}$ водного розчину ПЕО за варіацією $C_{пео}$ и $M_{пео}$.

Коефіцієнт кореляції для рівняння (2) складає $R^2 = 0,89$, критерій Фішера $F=195$, а критичне його значення за 5% рівнем значимості – $F_{0,05}=9,3$. Коефіцієнти у рівнянні (2) витримують перевірку на значимість за критерієм Стюдента. Коефіцієнт варіації експериментальних даних щодо розрахункових складів не більше $K_{вар}=8,7\%$. Цим підтверджується адекватність отри-

маної розрахункової залежності експериментальним даним.

Висновки

1. Показана перспективність технології гідрорізання, особливо для розрізання харчових продуктів заморожених до -25°C і нижче. Вирішене важливе інженерне завдання – запропоновано вискоєфективний гідроструминний водополімерний спосіб інтенсифікації процесу обробки харчових продуктів різанням.

2. Експериментальні дані свідчать про те, що водополімерний струмінь має кращі гідродинамічні властивості, ніж водяний, і тим забезпечує високу ефективність процесу обробки харчових продуктів різанням. Тому використання водополімерного струменя для розрізання заморожених харчових продуктів найдоцільніше.

3. Використання розчину ПЕО як робочої рідини вимагає подальшого дослідження процесу взаємодії гідроструменя з замороженими харчовими продуктами та оптимізації параметрів, пов'язаних з конструктивними особливостями струминоформуючої голівки гідроріжучого устаткування та молекулярно-концентраційними характеристиками полімерного розчину.

Бібліографічні посилання

- Zapletnikov, I.M., Pohrebniak, A.V. (2013). Innovatsiini pidkhody do polipshennia ekspluatatsiinykh kharakterystyk obladnannia kharchovykh vyrobnystv. Donetsk: Noulidzh (in Ukrainian).
- Salenko, O.F., Strutynskyi, V.B., Zahirniak, M.V. (2005). Efektyvne hidrorizannia. Kremenchuh: KDPU (in Ukrainian).
- Zajakin, S.A. (2003). Rezat' vodoj // Oborudovanie, 8, 43, 55. (in Russian).
- Pogrebnyak, A.V. (2008). Vysokoeffektivnoe gidrorezanie tverdyh pishhevykh produktov i materialov. Upravlenie reologicheskimi svojstvami pishhevykh produktov. M.: Moskovskij gos. un-t pishh. Proizvodstv, 173–179 (in Russian).
- Pohrebniak, A.V., Perkun, I.V. (2013). Fizychnyi mekhanizm hidrostrumennoho rozrizannia kharchovykh produktiv hlybokoho zamorozhennia ta yakist rozrizu. Prohresyvi tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnystv restorannoho hospodarstva i torhivli. Kharkiv: Khark. derzh. un-t kharchuvannia ta torhivli. 1(17), 1, 196–202 (in Ukrainian).
- Pogrebnyak, A.V., Ivanyuta, Yu.F. (2015). Structure formation in polyethyleneoxide solution streaming through jet-shaping head while cutting foodstuffs. Scientific journal NRU ITMO Series: Processes and equipment for food production. 1(23), 138–141.
- Deynichenko, G.V., Pogrebnyak, A. V., Ivanyuta, Yu.F. (2015). The nature of increased cutting ability of a polyethylene oxide solution jet while processing food products. Scientific journal NRU ITMO Series: Processes and equipment for food production. 3(25), 6–13.

- Pogrebnyak, A.V., Deynichenko, G.V. (2016). Research of the process of hydrocutting food products. Scientific journal NRU ITMO Series: Processes and equipment for food production. 3(29), 48–62.
- Pogrebnyak, A.V. (2014). Priroda uvelichenija rezhushhej sposobnosti vodopolimernoj strui pri obrabotke pishhevyh produktov. Materialy 27 Mezhdunarodnogo Simpoziuma po relogii. M.: In-t neftehim. sinteza im. A.V. Topchieva RAN, 151–152 (in Russian).
- Pogrebnyak, A.V., Ivanyuta, Yu.F. (2014). Peculiarities of polyethyleneoxide solution streaming through jet-shaping head while cutting foodstuffs. Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv. Donetsk: Donets. nats. un-t ekonomiky i torhivli imeni Mykhaila Tuhana-Baranovskoho. 32, 50–59 (in Ukrainian).
- Zapletnikov, I.M., Pohrebniak, A.V. (2010). Struktura i dynamika strumenia hidrorizky. Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu. 10, 3–13 (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 21.03.2017