

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ЗАМОРОЖЕНОГО М'ЯСНОГО ФАРШУ ВИСОКОШВИДКІСНИМ СТРУМЕНЕМ ВОДИ

*У статті обґрунтовано необхідність подальшого дослідження процесу водорізання харчових продуктів, що використовуються в переробній і харчовій промисловостях. Розпочато вивчення процесу різання замороженого м'ясного фаршу високошвидкісним струменем води. У результаті експериментальних досліджень, що проводились, встановлено деякі попередні закономірності цього процесу.*

**Ключові слова:** водорізання, струмінь води, заморожений м'ясний фарш, гранична напруга зрушення, відстань від зрізу струменеформувальної насадки.

**Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.** Процес водорізання заснований на використанні кінетичної енергії води, що витікає під високим тиском зі струменеформувального сопла. Якщо звичайну воду зжати під тиском до  $10^5$  кПа, а потім пропустити через невеликий отвір діаметром  $(0,1 \div 0,8) \cdot 10^{-3}$  м, то виникає потужний інструмент різання харчових продуктів. Тонкий струмінь води, що тече зі швидкістю звуку з отвору малого діаметра, здатний впливати на харчовий продукт, що оброблюється, із силою, достатньою для здійснення процесу мікрориву часток від нього [1], тобто відбувається різання. На цей час процес водорізання заморожених м'яса, риби, рибного фаршу та кісток є достатньою мірою дослідженим [2-4]. Але це не повний перелік харчових продуктів, які використовуються в переробній і харчовій промисловостях. Тому постає важливе питання дослідження процесу водорізання інших харчових продуктів, таких як заморожені м'ясний фарш, вершкове масло, пальмова олія, маргарин та ін.

**Метою статті** є дослідження процесу водорізання замороженого м'ясного фаршу та встановлення його закономірностей.

Попередніми експериментальними дослідженнями з водорізання харчових продуктів [4; 5] встановлено, що цей процес залежить від чотирьох груп факторів.

До першої групи факторів належать геометричні параметри струменеформувального пристрою: довжина циліндричної ділянки проточної частини струменеформувальної насадки  $l_y$ .

До другої групи факторів належать гідравлічні параметри струменеформувального пристрою, що містять: тиск води перед струменеформувальною насадкою  $P_0$  (швидкість витікання струменя води зі струменеформувальної насадки  $g_0$ ) і діаметр отвору струменеформувальної насадки  $d_0$ .

До третьої групи факторів належать параметри, що визначають умови та режими впливу високошвидкісного струменя води на харчовий продукт: швидкість переміщення струменя води  $g_n$ , відстань між зрізом струменеформуваль-

ної насадки й поверхнею харчового продукту  $l_0$  і кількість проходів струменя води по харчовому продукту  $n$ .

До четвертої групи факторів належать фізико-механічні властивості харчового продукту. Ці властивості характеризують опірність харчового продукту різанню високошвидкісними струменями води.

Для проведення експериментальних досліджень з водорізання замороженого м'ясного фаршу використовувалася установка для водорізання харчових продуктів [6].

У роботі [7] встановлено, що як показник оцінки опірності харчових продуктів під час різання їх високошвидкісним струменем води може бути прийняте значення їхньої граничної напруги зрушення  $\tau_0$ . Тому надалі буде використовуватися саме цей показник фізико-механічних властивостей харчових продуктів.

Процес взаємодії струменя води з харчовим продуктом залежить від цілого ряду випадкових факторів, частку з яких просто неможливо врахувати. Тому вивчення процесу різання замороженого м'ясного фаршу таким струменем проводилося за допомогою експериментально-статистичного методу, що передбачає виконання серії експериментальних досліджень із наступним графоаналітичним аналізом дослідних даних із застосуванням методів теорії ймовірностей і математичної статистики, а також методів теорії подоби та розмірностей.

Із метою встановлення впливу вищевказаних факторів на процес різання харчових продуктів високошвидкісним струменем води було проведено низку експериментів із водорізання замороженого м'ясного фаршу з температурою до  $-19^{\circ}\text{C}$ .

Дослідження впливу граничного напруження зрушення  $\tau_0$  фаршу на глибину його різання водним струменем проводилися за тиском води  $P_0 = 300$  МПа, діаметром отвору струменеформувальної насадки  $d_0 = 0,4 \cdot 10^{-3}$  м, відстанем від зрізу струменеформувальної насадки до поверхні харчового продукту, що різеться,  $l_0 = 5 \cdot 10^{-3}$  і швидкістю переміщення струменя води щодо харчового  $g_n = 25 \cdot 10^{-3}$  продукту м/с за один прохід.

Результати, що подано в таблиці 1 і на рисунку 1, показують, що між глибиною різання  $h$  і граничним напруженням зрушення  $\tau_0$  фаршу існує прямолінійна залежність, що характеризує зниження глибини різання  $h$  за збільшення граничного напруження зрушення  $\tau_0$ . Так, зі зростанням  $\tau_0$  від 1,1 до 3,95 глибина різання  $h$  знижується приблизно в 3 рази.

Експериментальні дослідження зі встановлення впливу відстані від зрізу струменеформувальної насадки  $l_0$  до поверхні зразка фаршу, що різеться на глибину його різання  $h$ , проводилися за значеннями граничного напруження зрушення  $\tau_0 = 1,46$  кПа.

Таблиця 1 – Залежність глибини різання м'ясного фаршу від значення його граничного напруження зрушення  $\tau_0$

Граничне напруження зрушення замороженого фаршу, $\tau_0$ , кПа	1,1	1,15	1,46	1,76	2,15	2,54	2,83	3,24	3,4	3,7	3,84	3,95
Глибина різання, $h$ , $10^{-3}$ м	97	93	89	82	78	72	65	58	50	42	38	36

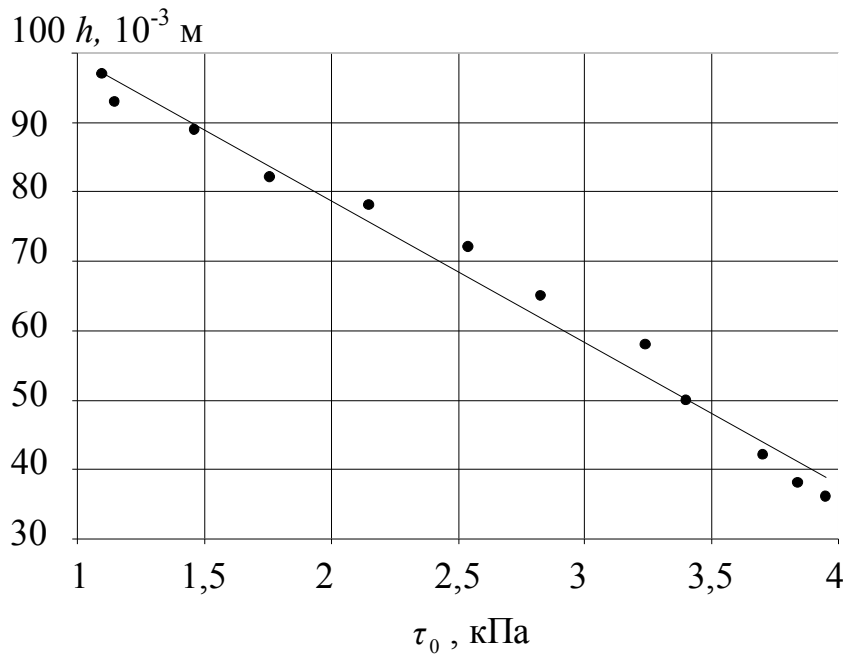


Рисунок 1 – Залежність глибини різання  $h$  замороженого м'ясного фаршу від значення його граничного напруження зрушення  $\tau_0$

У ході дослідів тиск води  $P_0$  становив 150, 200, 250, 300 МПа, діаметр отвору струменеформувальної насадки дорівнює  $0,6 \cdot 10^{-3}$  м, швидкість переміщення струменя води щодо харчового продукту –  $g_n = 25 \cdot 10^{-3}$  м/с.

Результати експериментальних досліджень подано в таблиці 2, на підставі яких були побудовані графіки залежності  $h$  від  $l_0$ , та на рисунку 2.

Аналіз експериментальних даних, поданих у таблиці 2 і на рисунку 2, показує, що в міру віддалення струменеформувальної насадки від поверхні харчового продукту спочатку відбувається збільшення глибини різання продукту, а потім зменшення її у всьому діапазоні значень  $l_0$  незалежно від тиску води, діаметра отвору струменеформувальної насадки й граничного напруження зрушення харчового продукту, тобто характер зміни глибини різання продукту залежно від відстані між зрізом струменеформувальної насадки й поверхнею зразка харчового продукту для різних умов експерименту є якісно подібним.

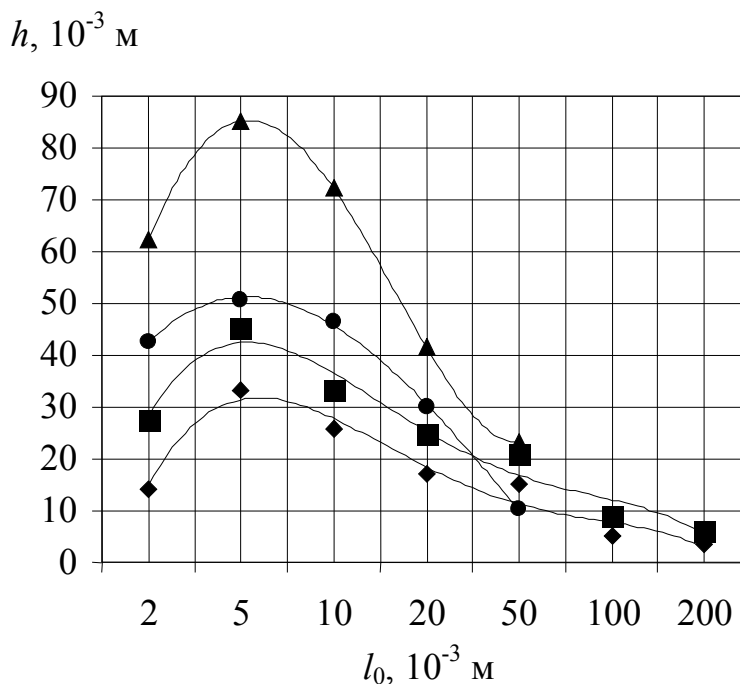
Збільшення глибини різання продукту зі зростанням відстані від зрізу насадки до поверхні харчового продукту, що ріжеться від 0 до  $(4-6) \cdot 10^{-3}$  м, відбувається внаслідок того, що процес струменеформування закінчується не безпосередньо біля зрізу насадки, а на деякій відстані від неї, що дорівнює  $(4-6) \cdot 10^{-3}$  м.

При цьому відстань  $l_0 = (4-6) \cdot 10^{-3}$  м, що відповідає максимальній глибині різання продукту  $h$ , є із цього погляду раціональною.

За подальшого збільшення відстані (більше  $(4-6) \cdot 10^{-3}$  м) високошвидкісний струмінь води у результаті взаємодії з повітрям поступово втрачає свою кінетичну енергію, її діаметр збільшується, а величина осьового динамічного впливу на зразок харчового продукту, що ріжеться, зменшується, що приводить і до зменшення глибини різання.

Таблиця 2 – Залежність глибини різання замороженого м'ясного фаршу від відстані між ним і зрізом струменеформувальної насадки

$P_0$ , МПа	Глибина різання $h$ , $10^{-3}$ м						
	$l_0$ , $10^{-3}$ м						
	2	5	10	20	50	100	200
150	14,3	33,3	25,9	17,1	15,1	5,1	3,4
200	27,4	45,3	33,1	24,9	20,9	9	6
250	42,6	50,8	46,4	30,1	10,2	–	–
300	62,1	85,2	72,2	41,5	23,1	–	–



- ◆ – за  $P_0 = 150$  МПа;                      ■ – за  $P_0 = 200$  МПа;
- – за  $P_0 = 250$  МПа;                      ▲ – за  $P_0 = 300$  МПа.

Залежності, що апроксимують:

- ◆ –  $h = -0,273l_0^4 + 5,1503l_0^3 - 34,196l_0^2 + 87,238l_0 - 43,114$ ;
- –  $h = -0,2898l_0^4 + 5,3891l_0^3 - 35,204l_0^2 + 86,545l_0 - 28,314$ ;
- –  $h = 0,75l_0^3 - 11,614l_0^2 + 38,336l_0 + 15,02$ ;
- ▲ –  $h = 0,4833l_0^4 - 1,7667l_0^3 - 19,533l_0^2 + 86,817l_0 - 3,9$ .

Рисунок 2 – Залежність глибини різання  $h$  від відстані між зрізом струменеформувальної насадки й поверхнею замороженого м'ясного фаршу  $l_0$

Слід зазначити, що за збільшення тиску понад 250 МПа відбувається більш різке зниження глибини різання продукту за збільшення відстані від зрізу струменеформувальної насадки до поверхні зразка, що ріжеться, і за відстані  $l_0$  більше  $50 \cdot 10^{-3}$  м процес різання припиняється. Це пояснюється тим, що підви-

щення тиску за незмінного діаметра отвору струменеформувальної насадки викликає збільшення швидкості витікання струменя води, і струмінь за відносно короткої циліндричної ділянки проточної частини отвору насадки не встигає формуватися й на відстані, що не перевищує  $50 \cdot 10^{-3}$  м від зразка харчового продукту, зберігає лише частину своєї ріжучої здатності, в основному, завдяки стискальності рідини.

**Висновки.** Таким чином, можна констатувати, що зі збільшенням значення граничного напруження зрушення замороженого м'ясного фаршу глибина його різання у процесі водорізання зменшується за лінійною залежністю. Визначено діапазон раціональних значень відстані між зрізом струменеформувальної насадки й поверхнею харчового продукту ( $l_{\text{ораз}} = (4-6) \cdot 10^{-3}$  м), за якого досягається максимальна глибина різання.

**Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку є проведення дослідів із встановлення впливу тиску води та діаметра отвору струменеформувальної насадки, кількості проходів високошвидкісного струменя води та швидкості його переміщення щодо зразка замороженого м'ясного фаршу на глибину його різання.**

### Список літератури

1. Гордієнко О.В. Гідрорізання в харчовому виробництві / О.В. Гордієнко, А.В. Погребняк, С.О. Фоменко // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. – 2007. – Вип. 16. – С. 26-31.
2. Гордієнко О.В. Розробка та дослідження обладнання для водорізання харчових продуктів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / О.В. Гордієнко. – Донецьк, 2010. – 18 с.
3. Погребняк А.В. Інтенсифікація процесу гідрорізання м'яса глибокої заморозки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / А.В. Погребняк. – Донецьк, 2011. – 20 с.
4. Заплетников И.Н. Оборудование водорезания пищевых продуктов: моногр. / И.Н. Заплетников, А.В. Гордиенко, А.В. Погребняк. – Донецк: ДонНУЭТ, 2012. – 207 с.
5. Гордиенко А.В. Основные параметры, влияющие на водорезание пищевых продуктов / А.В. Гордиенко // Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка: VI Міжнар. наук.-техн. конф., 2009 р., Святогірськ: [тези доп.]. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – С. 4-6.
6. Гордієнко О.В. Дослідження процесу водорізання харчових матеріалів і продуктів / О.В. Гордієнко, А.В. Погребняк // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. – 2008. – Вип. 18 – С. 280-287.
7. Заплетников І.М. Експериментальне визначення впливу фізико-механічних властивостей харчових продуктів на процес їх водорізання / І.М. Заплетников, О.В. Гордієнко, А.В. Погребняк // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. – 2009. – Т. 11, № 2 (41), ч. 5. – С. 38-42.