

food raw material and products. The values of temperatures of standard with the marks of location of thermocouples are registered real-time. Documenting of information is conducted graphicly and as a text file which is automatically created the program of management experimental researches. The set temperature of standard is created, supported and controlled automatically.

**Key words:** high pressure, ultrasound, combined, thermal field.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук,  
проф. Погожих М.І.

Дата надходження рукопису 12.02.2013 р.

УДК 637.513.4-047.36:621.527.4

Гордієнко О.В., канд. техн. наук,  
Жданов Р.В.

Донецький національний університет економіки  
і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського,  
м. Донецьк, Україна,  
e-mail: gordienko\_aleksa@mail.ru.

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

Gordiyenko O.V., Cand. Sci. (Tech.),  
Zhdanov R.V.

Donetsk National University of Economics and Trade  
named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Donetsk,  
Ukraine, e-mail: gordienko\_aleksa@mail.ru.

## INVESTIGATION OF FROZEN GROUND MEAT CUTTING PROCESS USING HIGH VELOCITY WATER STREAM

**Мета.** Метою статті є дослідження процесу різання замороженого м'ясного фаршу високошвидкісним струменем води та встановлення його закономірностей.

**Методика.** Поставлені завдання вирішували, використовуючи експериментально-статистичний метод досліджень процесу водорізання твердих харчових продуктів із застосуванням сучасних вимірювальних приладів і обладнання. Експериментальні дані оброблялися методами математичної статистики. Обробка даних здійснювалася за допомогою новітніх комп'ютерних технологій.

**Результати.** На підставі проведених досліджень можна констатувати, що зі збільшенням значення граничної напруги зрушення замороженого м'ясного фаршу глибина його розізу за умови водорізання зменшується за лінійною залежністю.

**Наукова новизна.** Запропоновано спосіб різання твердих харчових продуктів, за основу якого взято спосіб різання високошвидкісним струменем води. Вивчено процес різання замороженого м'ясного фаршу з різними фізико-механічними властивостями високошвидкісним струменем води, урахувавши геометричні, гідравлічні та режимні параметри струменеформуючої насадки, що дозволило обґрунтовано визначити глибину розрізу. Встановлено, що між глибиною розрізу та граничною напругою зрушення фаршу є прямолінійна залежність, яка характеризує зниження глибини розрізу в разі збільшення граничної напруги зрушення. Визначено діапазон раціональних значень відстані між зрізом струменеформуючої насадки й поверхнею твердого харчового продукту ( $l_{\text{ораз}} = (4-6) \cdot 10^{-3}$  м), за яких досягають максимальної глибини розрізу.

**Практична значущість.** Отримані результати спрямовані на подальші дослідження в цьому напрямі, а саме проведення дослідів з метою встановлення впливу тиску води та ді-

аметра отвору струменеформуючої насадки, кількості проходжень високошвидкісного струменя води та швидкості його переміщення щодо зразка замороженого м'ясного фаршу на глибину його розрізу.

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

**Постановка проблеми.** Процес водорізання заснований на використанні кінетичної енергії води, що витікає під високим тиском зі струменеформуючого сопла. Якщо звичайну воду стиснути під тиском до  $10^5$  кПа, а потім пропустити крізь 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 оброблюваний харчовий продукт із силою, достатньою для здійснення процесу мікровідриву часток від нього [1], тобто відбувається різання.

На сьогодні процес водорізання заморожених м'яса, риби, рибного фаршу та кісток достатньою мірою досліджено [2]. Але це не повний перелік харчових продуктів, які використовуються в переробній та харчовій промисловості. Тому постає важливе питання дослідження процесу водорізання інших харчових продуктів, таких як заморожені м'ясний фарш, вершкове масло, пальмова олія, маргарин та ін.

У ході попередніх експериментальних досліджень водорізання харчових продуктів [2] було встановлено, що цей процес залежить від чотирьох груп факторів. До першої групи відносяться геометричні параметри струменеформуючого пристрою – довжина циліндричної ділянки проточної частини струменеформуючої насадки  $l_u$ . До другої групи відносяться гідравлічні параметри струменеформуючого пристрою, що включають: тиск води перед струменеформуючою насадкою  $P_0$  (швидкість витікання струменя води зі струменеформуючої насадки  $\mathcal{Q}_0$ ) і діаметр отвору струменеформуючої насадки  $d_0$ . До третьої групи відносяться параметри, які визначають умови та режими впливу високошвидкісного струменя води на харчовий продукт: швидкість переміщення струменя води  $\mathcal{Q}_n$ , відстань між зрізом струменеформуючої насадки й поверхнею харчового продукту  $l_0$  і кількість проходжень струменя води по харчовому продукту  $n$ . До четвертої групи відносяться фізико-механічні властивості харчового продукту. Ці властивості характеризують опірність харчового продукту різанню високошвидкісними струменями води.

**Метою роботи** є дослідження процесу різання замороженого м'ясного фаршу високошвидкісним струменем води та визначення його закономірностей.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для проведення експериментальних досліджень з водорізання замороженого м'ясного фаршу використовували установку для водорізання харчових продуктів [3].

У роботі [3] встановлено, що як показник оцінки опірності харчових продуктів за умови різання їх високошвидкісним струменем води може бути прийнято значення їхньої граничної напруги зрушення  $\tau_0$ . Тому надалі буде використовуватися саме цей показник фізико-механічних властивостей харчових продуктів.

Дослідження процесу водорізання харчових продуктів високошвидкісним струменем води є досить складним теоретичним завданням. Процес взаємодії струменя води з харчовим продуктом залежить від цілого ряду випадкових факторів, частину з яких просто не можна врахувати. Тому процес різання замороженого м'ясного фаршу таким струменем вивчали 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 подібності та розмірностей.

З метою встановлення впливу вищевказаних факторів на процес різання харчових продуктів високошвидкісним струменем води було проведено ряд експериментів з водорізання замороженого м'ясного фаршу з температурою до мінус 19°C.

Вплив граничної напруги зрушення  $\tau_0$  фаршу на глибину його розрізу водним струменем досліджували за наявності тиску води  $P_0 = 300$  МПа, діаметра отвору струменеформуючої насадки  $d_0 = 0,4 \cdot 10^{-3}$  м, відстані від зрізу струменеформуючої насадки до поверхні розрізуваного харчового продукту  $l_0 = 5 \cdot 10^{-3}$  і швидкості переміщення струменя води щодо харчового  $g_n = 25 \cdot 10^{-3}$  продукту м/с за одне проходження.

Результати, наведені в таблиці 1 і на рисунку 1, показують, що між глибиною розрізу  $h$  та граничною напругою зрушення  $\tau_0$  фаршу є прямолінійна залежність, яка характеризує зниження глибини розрізу  $h$  за умови збільшення граничної напруги зрушення  $\tau_0$ . Так, зі зростанням  $\tau_0$  від 1,1 до 3,95 глибина розрізу  $h$  знижується приблизно в 3 рази.

Таблиця 1 – Залежність глибини розрізу м'ясного фаршу від значення його граничної напруги зрушення  $\tau_0$

Гранична напруга 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 розрізу, $h$ , $10^{-3}$ м	97	93	89	82	78	72	65	58	50	42	38	36

Експериментальні дослідження щодо визначення впливу відстані від зрізу струменеформуючої насадки  $l_0$  до поверхні зразка фаршу, що ріжеться, на глибину його розрізу  $h$  проводили за наявності значення граничної напруги зрушення  $\tau_0 = 1,46$  кПа.

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

Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 2.

Ураховуючи ці дані, побудовано графіки залежності  $h$  від  $l_0$ , подані на рисунку 2.

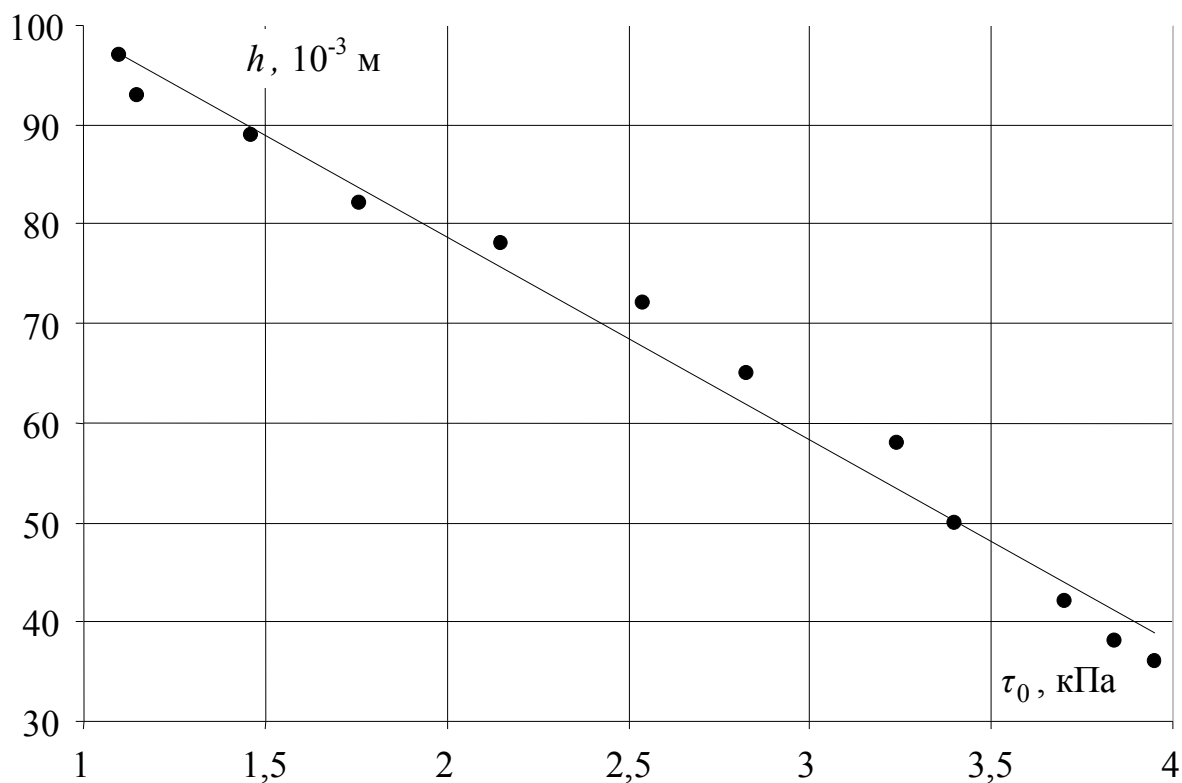
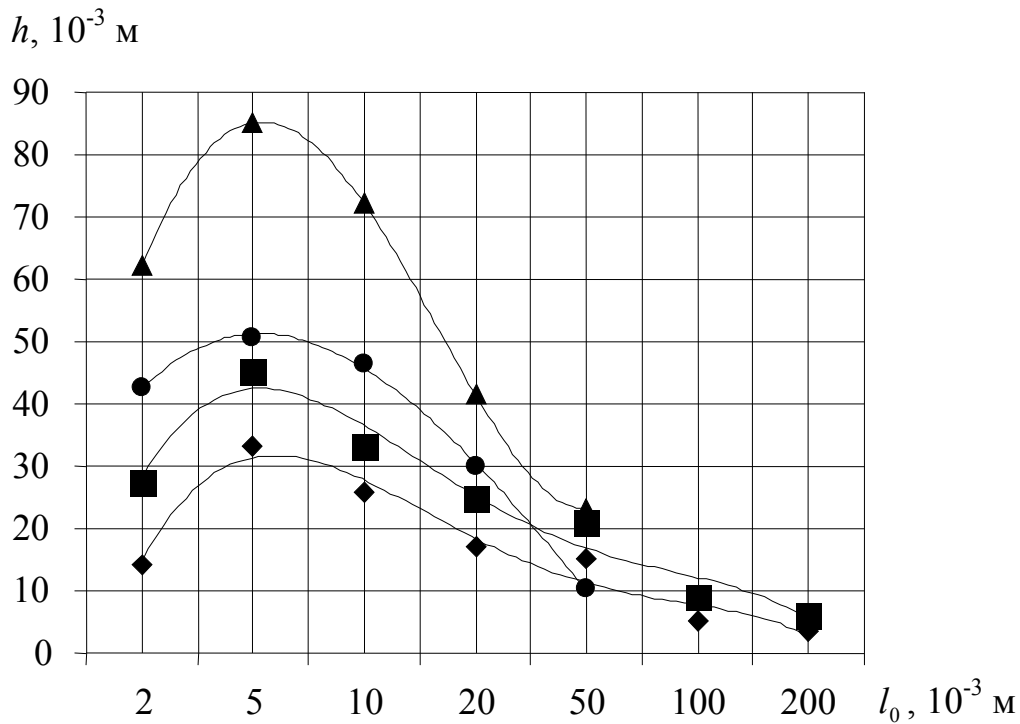


Рисунок 1 – Залежність глибини розрізу  $h$  замороженого м'ясного фаршу від значення його граничної напруги зрушення  $\tau_0$

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

$P_0$ , МПа	Глибина розрізу $h$ , $10^{-3}$ 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	–	–

Аналіз експериментальних даних, наведених у таблиці 2 і на рисунку 2, показує, що в міру віддалення струменеформуючої насадки від поверхні харчового продукту спочатку відбувається збільшення глибини розрізу продукту, а потім зменшення її в усьому діапазоні значень  $l_0$ , незалежно від тиску води, діаметра отвору струменеформуючої насадки та граничної напруги зрушення харчового продукту. Відповідно характер зміни глибини розрізу продукту залежно від відстані між зрізом струменеформуючої насадки й поверхнею зразка харчового продукту для різних умов експерименту якісно подібний. Збільшення глибини розрізу 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, яка становить  $(4-6) \cdot 10^{-3}$  м.



◆ – при  $P_0 = 150 \text{ МПа}$ ; ■ – при  $P_0 = 200 \text{ МПа}$ ;  
 ● – при  $P_0 = 250 \text{ МПа}$ ; ▲ – при  $P_0 = 300 \text{ МПа}$ .

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

При цьому відстань  $l_0 = (4-6) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , що відповідає максимальній глибині розрізу продукту  $h$ , є з цього погляду раціональною. За умови подальшого збільшення відстані (більше  $(4-6) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ) високошвидкісний струмінь води, у результаті взаємодії з повітрям, поступово втрачає свою кінетичну енергію, її діаметр збільшується, а величина осевого динамічного впливу на зразок розрізуваного харчового продукту зменшується, що і приводить до зменшення глибини розрізу.

Слід зазначити, що в разі зростання тиску понад 250 МПа відбувається більш різке зниження глибини розрізу продукту за умови збільшення відстані від зрізу струменеформуючої насадки до поверхні зразка, що ріжеться, і при відстані  $l_0$  більше  $50 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  процес різання припиняється. Це пояснюється тим, що підвищення тиску за наявності незмінного діаметра отвору струменеформуючої насадки викликає збільшення швидкості витікання струменя води. Оскільки циліндрична ділянка проточної частини отвору насадки є досить короткою, то струмінь не встигає формуватися, і на відстані, що не перевищує  $50 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , від зразка харчового продукту зберігає лише частину своєї ріжучої здатності, в основному завдяки стисливості рідини.

**Висновки.** У статті обґрунтовано необхідність подальшого дослідження процесу водорізання харчових продуктів, що використовуються в переробній та харчовій промисловості. Розпочато вивчення процесу різання замороженого

м'ясного фаршу високошвидкісним струменем води. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено деякі закономірності цього процесу.

### Список літератури / References:

1. Гордієнко О.В. Гідрорізання в харчовому виробництві / О.В. Гордієнко, А.В. Погребняк // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2007. – Вип. 16. – С. 26-31.  
Hordiienko, O.V. and Pogrebniak, A.V. (2007), “Water jet cutting in food production”, *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, Issue 16, pp. 26-31.
2. Заплетников И.Н. Оборудование водорезания пищевых продуктов: монография / И.Н. Заплетников, А.В. Гордиенко, А.В. Погребняк. – Донецк: ДонНУЭТ, 2012. – 207 с.  
Zaplietnikov, I.N., Hordiienko, O.V. and Pogriebniak, A.V. (2012), *Oborudovaniie vodoriiezaniia pishchevykh produktov* [Equipment for water jet cutting of food], DonNUET, Donetsk, Ukraine.
3. Гордієнко О.В. Дослідження процесу водорізання харчових матеріалів і продуктів / О.В. Гордієнко, А.В. Погребняк // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2008. – Вип. 18. – С. 280-287.  
Hordiienko, O.V. and Pogrebniak, A.V. (2008), “Investigation of water jet cutting food materials and products”, *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, Issue 18, pp. 280-87.

**Цель.** Целью статьи является исследование процесса резания замороженного мясного фарша высокоскоростной струей воды и установление его закономерностей.

**Методика.** Поставленные задачи решались с использованием экспериментально-статистического метода исследований процесса водорезания пищевых продуктов с применением современных измерительных приборов и оборудования. Экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики. Обработка данных осуществлялась с использованием новейших компьютерных технологий.

**Результаты.** На основании проведенных исследований можно констатировать, что с увеличением значения предельного напряжения сдвига замороженного мясного фарша глубина его реза при водорезании уменьшается по линейной зависимости.

**Научная новизна.** Предложен способ резания твердых пищевых продуктов, в основу которого положен способ резания высокоскоростной струей воды. Изучен процесс резания замороженного мясного фарша с различными физико-механическими свойствами высокоскоростной струей воды, с учетом геометрических, гидравлических и режимных параметров струеформирующей насадки, что позволило обоснованно определять глубину реза. Установлено, что между глубиной реза и предельным напряжением сдвига фарша существует прямолинейная зависимость, характеризующая снижение глубины реза при увеличении предельного напряжения сдвига. Определен диапазон рациональных значений расстояния между срезом струеформирующей насадки и поверхностью твердого пищевого продукта ( $l_{0\text{рац}} = (4-6) \cdot 10^{-3}$  м), при которых достигается максимальная глубина реза.

**Практическая значимость.** Полученные результаты направлены на дальнейшие исследования в этом направлении, а именно проведение опытов по установлению влияния давления воды и диаметра отверстия струеформирующей насадки, количества проходов высокоскоростной струи воды и скорости ее перемещения относительно образца замороженного мясного фарша на глубину его реза.

**Ключевые слова:** водорезание, струя воды, замороженный мясной фарш, предельное напряжение сдвига, расстояние от среза струеформирующей насадки.

**Objective.** The aim of article is investigation of frozen ground meat cutting process using high velocity water stream and determination of its regularities.

**Methods.** Assigned tasks were decided with the help of experimental – statistical method of investigation of foodstuffs water cutting process using modern measuring devices and equipment. Processing of experimental data has been made by means of mathematical statistics methods. Data processing was carried out through the use of modern computer technologies.

**Results.** On the grounds of carried out investigations it can be stated that with increase of value of frozen ground meat yield point, depth of its cutting by water cutting is decreased in linear dependence.

**Academic novelty.** There was offered cutting method for hard foodstuffs, at the heart of which there is cutting using high velocity water stream. There has been studied cutting process of frozen ground meat with different physical and mechanical properties using high velocity water stream, taking into account geometrical, hydraulic and operating parameters of stream – forming nozzle which allowed founded determination of cutting depth. It was established that there is linear dependence between cutting depth and ground meat yield point, characterized by decreasing of cutting depth by yield point increase. There has been stipulated rational values range between stream – forming nozzle cut and hard foodstuff surface ( $l_{\text{opt}}=(4-6) \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ), by which maximum cutting depth is achieved.

**Practical importance.** Obtained results aimed at further investigations in this directions, and namely at carrying out of experiments in determination of influence of water pressure and diameter of stream – forming cut hole, quantity of high velocity water stream passes and speed of its displacement in relation to frozen ground meat sample on its cutting depth.

**Key words:** water cutting, water stream, frozen ground meat, yield point, distance from stream – forming nozzle cut.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук,  
проф. Михайловим О.М.

Дата надходження рукопису 13.02.2013 р.

УДК 622.99:664

Єрьоменко Д.О., канд. техн. наук,  
Лебедєв І.М., канд. техн. наук,  
Корнійчук В.Г., канд. техн. наук

Донецький національний університет економіки  
і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського,  
м. Донецьк, Україна,  
e-mail: eremenko.dmitry@mail.ru

## МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАРИ ВТОРИННОГО СКИПАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Yeryomenko D.O., Cand. Sci. (Tech.),  
Lebedev I.N., Cand. Sci. (Tech.),  
Korniychuk V.G., Cand. Sci. (Tech.)

Donetsk National University of Economics and Trade  
named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Do-  
netsk, Ukraine, e-mail: eremenko.dmitry@mail.ru

## POSSIBILITIES OF USAGE OF FLASH VAPORIZATION STEAM ON FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

**Мета.** Вирішення проблем підвищення енергоефективності на сьогоднішньому етапі, коли існує великий резерв маловитратних заходів, збігається з більшістю стратегічних цілей держави і господарюючих суб'єктів. Мета статті полягає в проведенні критичного