

3. Лозова Т.М. Наукові основи формування споживних властивостей і зберігання якості борошняних кондитерських виробів: монографія / Т.М. Лозова, І.В. Сирохман. – Л.: Вид-во ЛКА, 2009. – 456 с.
4. Treofan-Producte // Werkst. Fertig. – 2005. – № 6. – P. 11.
5. Rodriguez M. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films / M. Rodriguez, Osés Javier, Ziani Khalid // Food Res. Int. – 2006. – Vol. 39, № 8. – P. 840-846.

УДК 637.513.4

Погребняк А.В., канд. техн. наук, Пономаренко Е.В. (ДонНУЕТ, Донецьк)

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАННЯ ЗАМОРОЖЕНОГО М'ЯСА ТРЬОХКОМПОНЕНТНИМ ГІДРОАБРАЗИВНИМ СТРУМЕНЕМ

Роботу присвячено вибору та модифікації робочої рідини для гідроабразивного різання м'яса глибокого заморожування з метою підвищення її різальних і енергетичних можливостей без застосування додаткових холодильних пристроїв і систем термостатування.

Ключові слова: гідроабразивне різання, охолодження струменя, азот, абразив, глибина різу, трьохкомпонентна рідина, заморожене м'ясо.

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Для харчової промисловості і м'ясопереробних підприємств зокрема залишається актуальним завдання розробки і подальшого вдосконалення технологічних процесів і відповідного устаткування з метою зниження його енергоємності, фінансових виробничих витрат, втрат сировини, підвищення продуктивності, поліпшення якості продукції, що випускається.

Машина для подрібнення м'яса і м'ясних продуктів становлять близько половини усього діючого устаткування в м'ясній промисловості. Різання ж замороженого м'яса – процес досить енергоємний, тому будь-які можливості скорочення енерговитрат мають бути вивчені і реалізовані.

Під час гідроабразивного різання замороженого м'яса одним з основних завдань є вибір і удосконалення технологічних можливостей робочої рідини, яка в цьому процесі виконує роль різального інструменту. Від обґрунтованості виконання цієї операції залежать кінцеві енерговитрати, вихід і якість готової продукції.

Основне завдання статті – обґрунтування вибору робочої рідини (в нашому випадку запропоновано використання трьохкомпонентної рідини, яка складається з води, соди та часток льоду) і її модифікації з метою раціонального застосування в процесі гідроабразивного різання м'яса глибокого заморожування. Такий струмінь є повністю допустимим санітарними нормами харчової промисловості, при цьому його застосування в технологічному процесі супроводжуєть-

ся збільшенням різальних здібностей струменя, що якісно позначається на величині глибини різку замороженого м'яса, що розрізається.

Харчові продукти, у тому числі і м'ясо глибокого заморожування, відрізняються складним комплексом технологічних, структурно-механічних і адгезивних характеристик, тому міра технічної досконалості використовуваного в процесі різання устаткування й інструменту багато в чому зумовлює якість, зовнішній вигляд і вихід готової продукції. Нині для різання харчових продуктів і напівфабрикатів використовуються різноманітні конструкції машин, що відрізняються структурою робочого циклу, видом і траєкторією руху різальних інструментів, способом подачі сировини й іншими ознаками.

Порівняно з іншими способами різання харчових продуктів, перевага гідроабразивного різання полягає у виключенні з технологічного циклу різальних інструментів, робочі ребра яких постійно зношуються і зазнають впливу корозії, якщо різальний інструмент виготовлений з металу або різних сплавів. У процесі розрізання харчових продуктів струменем рідини виникають малі сили різання і досягається висока точність різку. При цьому виділяється мінімум тепла на поверхні продукту, досягається велика економія сировини за рахунок зменшення втрат під час процесу її розрізання. Механізм різання струменем рідини включає різноманітні фізичні (механічні, теплові, кавітаційні, адсорбційні) і хімічні процеси, обумовлені взаємодією рідинного чи абразивно-рідинного струменя з поверхнею продукту, що розрізається. Під час розгляду фізичного механізму руйнування замороженого м'яса в зоні різання гідроабразивним струменем можна переконатися, що відрив найдрібніших часток від основної маси зразка викликаний переважно виникненням і розвитком мікротріщин у місцях, найбільш ослаблених мікродефектами.

Одну з найважливіших ролей у процесі гідроабразивного різання грає склад робочої рідини, що безпосередньо впливає на формування і характеристики струменя, ефективність її дії на заморожене м'ясо, що розрізається. Загалом робоча рідина, яка використовується в гідрорізальних пристроях, повинна мати відносно малу в'язкість, що сприяє зменшенню втрат тиску під час її руху трубами, пристроями, що підводять, і безпосередньо на виході з сопла.

Експеримент [1] показав, що перспективним шляхом підвищення ефективності процесу різання струменем рідини замороженого м'яса може бути уперше запропонований і реалізований нами гідроабразивний метод, для здійснення якого як абразив може використовуватися куховарська сіль або харчова сода. У той же час, застосування соди в процесі гідроабразивного різання є раціональнішим, оскільки використання солі спричиняє протікання корозійних процесів у певних елементах гідрорізальної установки [2].

Підвищення щільності гідроструменя за рахунок уведених до нього абразивних часток із щільністю вищою за щільність води, приводить, очевидно, до збільшення енергетичних можливостей струменя. Після додавання у воду абразивних речовин з'являється можливість різання твердих матеріалів значної товщини.

Гідроабразивне різання ґрунтується на дії на матеріал абразивних часток, які розганяються струменем рідини, а також безпосередньо рідиною, розігна-

ною під дією високого тиску до надзвукових швидкостей, що і приводять до розрізання продукту.

Таким чином, експериментально було доведено, що додавання в робочу рідину абразивного матеріалу, в ролі якого виступала харчова сода, приводить до значних переваг порівняно з уже існуючими способами [3]. Однак недоліком цього методу є те, що у процесі гідроабразивного різання, зокрема, під час проходження робочої рідини крізь коліматор, відбувається різке зростання її температури. Таке підвищення температури під час дроселювання стисненої робочої рідини крізь сопло відбувається під дією ефекту Джоуля-Томпсона [4]. Для різноманітних рідин цей ефект вивчений недостатньо і є негативним, що спостерігається безпосередньо під час витікання під високим тиском робочої рідини з сопла різальної голівки. Висновок про те, що підвищення температури робочої рідини обумовлене головним чином ефектом Джоуля-Томпсона, можна зробити на підставі порівняння температур водного струменя і струменів інших рідин. Порівняльний аналіз вказує на те, що підвищення температури гідродинамічного струменя буде більшим тоді, коли теплоємність робочої рідини буде меншою.

Так, одним із способів підвищення ефективності розрізання м'яса глибокого заморожування високошвидкісним струменем рідини є різання не водним, а водокрижаним струменем. Застосування місцевого заморожування струменя рідини під час виходу з сопла дозволяє впливати на продукт, що розрізає, не лише за рахунок створюваної напруги розтягування-стискування (як відбувається під час гідрорізання), але й також за рахунок крижинок, що утворилися, які в цьому випадку гратимуть роль абразивного матеріалу та на периферії струменя «доведуть» ерозійну складову до процесу різання. Також можна зробити припущення про те, що лід, який покриває внутрішню поверхню фокусуючої трубки, постійно зношуючись і тут же наростаючи, частково або повністю виключить чинник негативної взаємодії абразиву з коліматором. Таким чином, застосування, в нашому випадку, місцевого заморожування струменя робочої рідини також сприятливо позначатиметься на зменшенні негативного впливу ефекту Джоуля-Томпсона, внаслідок дії якого струмінь робочої рідини підвищує свою температуру, що у свою чергу призводить до зменшення її різальних властивостей.

Крім того, авторами роботи [5] було виявлено, що водокрижаний струмінь має проміжну структуру між гідроабразивним струменем і струменем чистої води. Було встановлено, що водяний струмінь має активну ділянку за віссю потоку струменя; гідроабразивний струмінь є потоком розігнаних абразивних часток, рівномірно розподілених за перерізом струменя, тоді як водокрижаний струмінь має і активну ділянку за віссю, і розігнані крижані частки за периферією. На підставі цих фактів можна зробити припущення, що комплексне використання декількох методів різання з різними видами робочої рідини в сумі має підвищувати ефективність процесу різання харчових продуктів трифазним потоком робочої рідини.

Ідея застосування як робочої рідини трьохкомпонентного струменя полягає в комплексній модифікації, що включає одночасне додавання в струмінь чистої води як абразивних матеріалів, так і пари азоту, яка вносить у процес різання харчових продуктів цілий ряд можливостей, що сприятливо впливають на ефек-

тивність і якість технологічного процесу. При цьому забезпечуються більш якісні параметри процесу різання, що позитивно відбивається на глибині і швидкості, продуктивності в цілому.

Проведення експерименту з визначення залежності глибини різку замороженого м'яса від вибору складу робочої рідини проходило наступним чином. Формування гідроабразивного високошвидкісного струменя відбувалося в коліматорі, розташованому за сопловою голівкою, до якого за допомогою патрубків із форсункою симетрично приєднувалися дві ємності; перша ємність (для абразиву) містила в собі харчову соду, друга ємність (для охолодження робочої рідини до $t = 0^\circ\text{C}$) містила пари рідкого азоту. З коліматора, в якому робоча рідина охолоджується, за рахунок використання трьохкомпонентного середовища з двома видами абразивних матеріалів (частками соди і генерованими кристалами льоду) струмінь подавався на зразок замороженого м'яса, який у процесі досліджень розташовували на рухомому робочому столі.

Протягом дослідів здійснювалася безперервна генерація і подача гідроабразивного струменя води в зону різання під тиском P в діапазоні $50\div 150$ МПа, діаметр отвору струмоформувальної насадки склав $d = 0,35 \cdot 10^{-3}$ м. У процесі експериментальних досліджень витрата абразивних матеріалів і холодоагенту (пари рідкого азоту) була постійною величиною і становила $Q_c = 1,7 \cdot 10^{-3}$ кг/с – для харчової соди – і $Q_a = 2$ мл/с – для азоту відповідно.

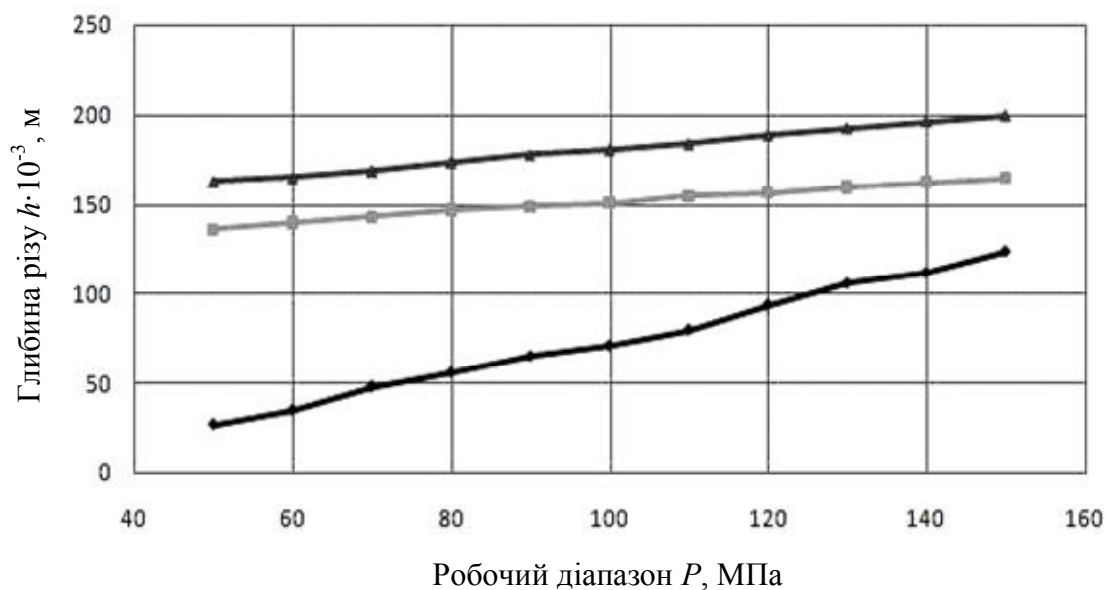
Під дією охолодженого гідроабразивного струменя з цими параметрами на м'ясо глибокого заморожування відбувається процес різання, що полягає в мікрориві часток продукту від його основної маси. Розрізання досягається за рахунок використання енергії трьохкомпонентного робочого струменя з двома видами абразивного матеріалу й обумовлене тим, що під час охолодження струменя до $t = 0^\circ\text{C}$ в робочій рідині відбувається генерація кристалів льоду. Останні виконують функцію абразивного матеріалу і, разом з подачею харчової соди в камеру змішення, обумовлюють значне збільшення глибини різку в м'ясі.

Результати експерименту з визначення залежності глибини різку зразка від вибору робочої рідини і тиску струменя приведено на рисунку 1.

Проаналізувавши криві на рисунку 1, можна переконалися в тому, що використання як робочої рідини трифазного струменя обумовлює збільшення глибини різку h в усьому діапазоні значень тиску P порівняно з тими способами гідроабразивного різання, коли в чисту воду додаються або кристали льоду, або тільки частки харчової соди. Таким чином, під час використання трьохкомпонентного струменя для різання м'яса глибокого заморожування з двома видами абразивного матеріалу з'являються значні переваги відносно вже існуючих способів різання, а також з'являється можливість значно підвищити глибину різку замороженого м'яса охолодженим гідроабразивним струменем без застосування додаткових холодильних пристроїв і різних систем термостатування.

Також, аналізуючи експериментальні дані про застосування трьохкомпонентного струменя, необхідно відмітити, що під час взаємодії цього струменя із зразком м'яса, що розрізається, спостерігається підвищення якості різку пруга останнього. Підвищується ефективність процесу в цілому, яка досягається за рахунок того, що зменшується кількість витрати абразивного матеріалу. Це по-

яснюється тим, що розчинність харчової соди як абразиву в розчиннику (воді), буде тим нижчою, чим нижчою буде температура останньої, що у нашому випадку забезпечується паром рідкого азоту, за допомогою якої робоча рідина й охолоджується до $t = 0^{\circ}\text{C}$.



— \bullet — частки льоду; — \blacksquare — сода; — \blacktriangle — трьохкомпонентний струмінь.

Рисунок 1 – Залежність глибини різання замороженого м'яса від вибору робочої рідини

Таким чином, розглянуті дані підтверджують можливість застосування трьохфазного робочого струменя в процесі гідроабразивного різання замороженого м'яса. Використання охолодженого гідроабразивного струменя як інструменту в процесі різання дозволяє збільшити глибину різання у декілька разів.

Перспективою подальших досліджень є розробка способів гідроабразивного різання, що дозволяють збільшити швидкість різання, зменшуючи таким чином тимчасові витрати на процес, а також удосконалення технологічного устаткування з метою зменшення діапазону робочого тиску.

Список літератури

1. Погребняк А.В. Інтенсифікація процесу гідроабразивного різання замороженого м'яса / А.В. Погребняк, Е.В. Пономаренко. – О., 2012. – Вип. 41. – Т. 2. – С. 163-166.
2. Раствор – поваренная соль / Режим доступа: <<http://www.ai08.org/index.php/term/7-tehnicheskij-slovar-tom-VII,7142-rastvor-povarennaya-sol-.xhtml>>.
3. Погребняк А.В. Інтенсифікація процесу гідрорізання м'яса глибокої заморозки: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / А.В. Погребняк. – Донецьк: Дон-НУЕТ, 2011. – 171 с.
4. Заплетніков І.М. Структурні характеристики струменя води, який є різальним органом гідром'ясорізки / І.М. Заплетніков, А.В. Погребняк // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2010. – Вип. 23. – С. 54-62.

5. Развитие научно-технических решений в медицине: учеб. пособие / В.Н. Канныков, Н.Г. Терегулов, В.Ф. Винярский, В.В. Осипов. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 255 с.

УДК 664.83.047.8

Поперечний А.М., д-р техн. наук, проф.,

Жданов І.В., Османова Ю.В., кандидати техн. наук (ДонНУЕТ, Донецьк)

СУШІННЯ РОСЛИННОЇ ПАСТОПОДІБНОЇ СИРОВИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ РАДІАЦІЙНОГО ТА КОМБІНОВАНОГО РАДІАЦІЙНО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПІДВЕДЕННЯ

У статті наведено експериментальні дані з сушіння пастоподібної картоплі за радіаційного та комбінованого радіаційно-конвективного теплопідведення. Проаналізовано вплив режимних параметрів на якість продукції.

Ключові слова: пастоподібна сировина, радіаційне теплопідведення, картопля, сушіння.

Постановка проблеми і її зв'язок з найважливішими науковими та практичними завданнями. Немало харчових продуктів рослинного походження, зокрема картоплю, кизил, яблука [1-3] тощо, висушують у пастоподібному вигляді. У промислових масштабах сушіння пастоподібної сировини здійснюється декількома способами.

Одним з найбільш розповсюджених є кондуктивний спосіб сушіння на вальцьових атмосферних чи вакуумних сушарках. Він передбачає нанесення продукту тонкою плівкою на металеву циліндричну поверхню обертового барабана, яка підігрівається парою чи електричними нагрівачами. Завдяки тонкому шару продукту та інтенсивному теплопідведенню тривалість сушіння становить декілька хвилин, залежно від властивостей продукту. Висушений продукт у вигляді пластівців чи стрічки знімається з барабана за допомогою скребкового пристрою. Вакуумні вальцьові сушарки відрізняються від відповідних атмосферних сушарок головним чином герметичним кожухом і допоміжним обладнанням, яке необхідне для роботи під час розрядження приладів (сепаратор, конденсатор, вакуум-насос). Перевагою їх у порівнянні з атмосферними сушарками є інтенсивне видалення вологи за низьких температур, що важливо під час сушіння термолабільних продуктів, чистота готового продукту, незалежність процесу сушіння від атмосферних умов тощо. До переваг вальцьових сушарок слід віднести: безперервне сушіння за досить високої напруги поверхні нагрівання (до $70 \text{ кг/м}^2\text{ч}$); можливість сушіння продуктів, чутливих до дії високих температур; економічність сушіння в порівнянні з конвективним способом, обумовлена малими втратами теплоти з відпрацьованим повітрям. Однак ці сушарки мають і низку недоліків: використання пари як теплоносія; порівняно висока вологість висушеного продукту; можливе перегрівання продукту; непродуктивні втрати енергії для нагрівання вільної поверхні барабана.