

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

СУХЕНКО ВЛАДИСЛАВ ЮРІЙОВИЧ

УДК 64.002.5:556.7.038.5

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ
М'ЯСОПОДРІБНЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ
ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ АПК

Спеціальність 05.18.12 - процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НААН України
Хомічак Любомир Михайлович,
Інститут продовольчих ресурсів НААН України,
заступник директора з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Богомолів Олексій Васильович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, завідувач кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв

доктор технічних наук, доцент
Севостьянов Іван Вячеславович,
Вінницький національний технічний університет, професор кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованого виробництва

доктор технічних наук, професор
Стадник Ігор Ярославович,
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, професор кафедри обладнання харчових технологій

Захист відбудеться «___» _____ 2015 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «___» квітня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02,
к.т.н., доц.

Л.О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Аналіз сучасного стану парку устаткування м'ясопереробних підприємств України свідчить про те, що його технічний рівень не можна визнати задовільним. Наразі 42% виробничих фондів підлягають заміні, 25% підлягають модернізації і тільки 19% відповідають світовому рівню. Приблизно 30% парку машин відпрацювали вже два і більше амортизаційні терміни, а знос основних засобів складає близько 70%. Більше 27% парку технологічного устаткування складає імпортна техніка, яка не відповідає як фінансовим можливостям виробників м'ясопродуктів, зважаючи на високу ціну устаткування і запасних частин, так і потребам та інтересам України у розвитку вітчизняного харчового машинобудування, створенню додаткових робочих місць і забезпеченню продовольчої безпеки країни.

Навіть враховуючи широке коло питань фундаментального і прикладного характеру, розглянутих дослідниками в області техніки і технології переробки м'яса, комплексні роботи, направлені на використання накопичених знань на загальне моделювання процесів подрібнення для пошуку оптимальних кінематичних і динамічних параметрів різання різноманітної м'ясної сировини, пошук раціональних геометричних параметрів різальних лез і підвищення довговічності м'ясоподрібнювального обладнання не було виконано.

Напрямок наукових досліджень, викладених у дисертаційній роботі, які направлені на створення узагальнюючої класифікації, фізичне і математичне моделювання, забезпечення ефективності м'ясоподрібнювальних процесів, якості продукції за реологічними і органолептичними показниками та рівня надійності існуючих і підґрунтя для створення нових м'ясорізальних машин та інструментів є **актуальним** для м'ясопереробних підприємств АПК і має важливе наукове, прикладне і народногосподарське значення.

Зв'язок з науковими програмами, планами та темами. Роботу виконано у рамках Національної програми виробництва технологічних комплексів, машин та обладнання сільського господарства, харчової та переробної промисловості, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України за №536 від 18.09.1992 р., згідно з загальнодержавною комплексною програмою розвитку високих наукоємних технологій (Закон України № 1676-IV від 09.04.2004 р.) на 2005- 2013 рр., науково-технічною програмою НААН України «Технології та обладнання для ефективно переробки м'ясної, молочної, сировини та птиці і виробництва повноцінних продуктів харчування», програмами науково-дослідних робіт Національного університету біоресурсів і природокористування (НУБіП) України із залученням Української лабораторії якості та безпеки продукції АПК за темами: «Розробка та удосконалення ресурсозаощаджувальних технологій харчових та кормових продуктів із сировини водного, тваринного та рослинного походження» (номер державної реєстрації 0113U000764); «Наукове обґрунтування використання сировини тваринного походження для виробництва продуктів оздоровчого харчування» (номер державної реєстрації 0110U003586), та за ініціативною програмою кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК НУБіП України. При виконанні вказаних робіт автор обіймав посаду старшого наукового співробітника, відповідального виконавця.

Мета роботи – на підґрунті комплексних теоретичних і експериментальних досліджень з застосуванням методів прикладної реології, трибології, матеріалознавства та математичного моделювання удосконалити процеси отримання дисперсних систем з м'ясної сировини, розробити наукові основи і практичні рішення для розрахунку оптимальних режимів подрібнення, створення енер-

гоефективного і матеріалоощадного технологічного обладнання з підвищеним ресурсом.

У відповідності з поставленою метою визначені **основні завдання досліджень**:

- виконати системний аналіз процесів і обладнання для подрібнення м'яса;
- розробити методики оцінки напружено-деформованого стану м'ясної сировини, характеристик дисперсних фаршевих систем і зносостійкості подрібнювальних інструментів, сконструювати, виготовити і застосувати існуючі установки для апаратурного оформлення методик;
- запропонувати математичні моделі, покласти їх в основу інженерного розрахунку оптимальних режимів подрібнення м'ясної сировини у машинах з різною різальною здатністю в умовах вільного і стиснутого різання;
- розробити класифікацію подрібнювальних процесів за структурою матеріальних потоків сировини і, на цьому підґрунті, математичну модель подрібнення м'яса у квазікрихкому, високоеластичному і пластичному станах;
- дослідити вплив ступеня автолізу м'яса і технологічних середовищ на деформування, дислокаційну структуру і кінетику зношування деталей подрібнювальних машин і запропонувати математичну модель їх спрацювання та методику оцінки рівня надійності;
- розробити рекомендації з модернізації існуючих і проектування нових енерго- і ресурсощадних м'ясоподрібнювальних машин, впровадити їх у промисловість і навчальний процес та оцінити економічну доцільність.

Об'єкти дослідження – процеси подрібнення м'ясної сировини на обладнанні з різною структурою матеріальних потоків і різальною здатністю.

Предмети дослідження – фізико-хімічна механіка і реодинаміка сировини і м'ясних дисперсних систем при взаємодії з робочими органами подрібнювальних машин.

Методи дослідження – комплексні, що полягають у сумісному застосуванні фізичного, математичного і комп'ютерного моделювання м'ясоподрібнювальних процесів з наступним експериментальним підтвердженням отриманих результатів у лабораторних і виробничих умовах.

Ступінь достовірності результатів досліджень

Наукові положення та висновки, сформульовані у дисертаційній роботі, базуються на одержаних автором теоретичних і експериментальних даних, результатах досліджень процесів подрібнення м'яса в лабораторних і виробничих умовах і узгоджені з поставленими завданнями. Результатами наукових досліджень отримані з застосуванням закономірностей фізики, електрохімії, фізико-хімічної механіки матеріалів, теорії дислокацій та ін.

Експериментальні дослідження проведені з застосуванням стандартизованих, запозичених та розроблених автором приладів і методик: пластометрів, пенетрометрів, віскозиметрів – для оцінки структурно-механічних характеристик фаршів і сировини; машини тертя, мікротрибометра, потенціостата – для оцінки взаємодії різальних інструментів з сировиною на атомно-молекулярному рівні; розривної машини, механічних і електричних моделей м'ясопродуктів – для оцінки напружено-деформованого стану сировини, зусиль та енергетичних показників різання; оптичного і електронного мікроскопів – для вивчення гістологічних зрізів м'ясної сировини, фаршів та поверхонь подрібнювальних інструментів; спектрометра – для оцінки структурно-фазового складу матеріалів і покриттів для виготовлення різальних інструментів.

Результати експериментів узагальнювали з використанням методів математичної статистики, адекватність математичних моделей перевірялась з застосуванням загальноприйнятих критеріїв Фішера, Колмогорова та ін. Оброблення

експериментальних даних та розрахунки виконували із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD, КОМПАС-V14, AutoCAD, CorelDRAW-X5, Matlab R 2011b, Origin 8.6 та ін.

Достовірність досліджень, висновків і рекомендацій також підтверджена їх успішним впровадженням у промисловість.

Наукова новизна. Одержані в роботі наукові результати, які розширюють уявлення про процеси подрібнення м'ясної сировини з різноманітними фізико-хіміко-механічними властивостями і класифікаційні ознаки технологічного обладнання дозволили розробити теоретичні основи і експериментально обґрунтувати новий концептуальний підхід у вирішенні на основі математичного і фізичного моделювання проблеми підвищення якості напівфабрикатів, готових виробів і довговічності обладнання м'ясопереробних виробництв АПК, покладений в основу конструктивних і технологічних рішень, вибору геометричних, режимних, кінематичних і динамічних параметрів різальних пристроїв, номенклатури сталей і зносостійких покриттів для різальних інструментів, що забезпечують енерго- та матеріалоощадність при подрібненні м'яса і є підґрунтям для проектування нових надійних подрібнювальних машин.

На захист виносяться наступні нові наукові результати:

- Вперше розроблені науково обґрунтовані та експериментально перевірені математичні моделі, що встановлюють взаємозв'язок між оптимальним ступенем подрібнення м'ясної сировини різного хімічного складу та реологічними характеристиками фаршів, міцностними, компресійними і зсувними характеристиками готових виробів, терміном сушки сирокочених і термообробки варених ковбас.

- Нові математичні моделі, покладені в основу розробки методики інженерного розрахунку оптимальних режимів подрібнення у машинах з різною різальною здатністю, прогнозування якості готових виробів за структурно-механічними характеристиками фаршів, які контролюються в процесі подрібнення з використанням побудованих номограм, що створює передумови для розробки нового асортименту м'ясних виробів.

- Вперше розроблені: нова класифікація подрібнювального обладнання за структурою матеріальних потоків, узагальнююча математична модель процесу руйнування сировини, науково обґрунтований параметр енергетичної ефективності подрібнювачів, що є підґрунтям для вибору номенклатури, синтезу нових конструктивних схем та оцінки ефективності м'ясоподрібнювальних машин.

- Нові математичні моделі транспортування і подрібнення м'яса в умовах вільного і стиснутого різання у крихкому, високоеластичному, пластичному і змішаному станах та їх використання для вибору способів, режимів подрібнення, конструктивного оформлення машин і різальних вузлів та збереження нативних властивостей продуктів.

- Фізико-хімічна механіка і математичне моделювання корозійно-механічного зношування деталей м'ясоподрібнювальних машин в технологічних середовищах галузі та засоби захисту від нього.

- Науково обґрунтовані нові підходи до прогнозування показників надійності м'ясоподрібнювальних машин з урахуванням властивостей робочих середовищ.

Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність і реалізація результатів роботи заключається в наступному:

- Отримані в роботі результати у сукупності окреслюють методологію підвищення ефективності подрібнення м'ясної сировини, якості фаршу і працездатності різальних інструментів та дають можливість раціонально проектувати технологічні схеми і робочі органи м'ясоподрібнювальних машин, вибирати

сталі і захисні покриття для виготовлення і зміцнення деталей, прогнозувати довговічність м'ясорізальних комплексів.

- Запропоновані нові конструкції подрібнювальних машин та різальних інструментів, які забезпечують збереження нативних властивостей сировини, матеріало- та енергоощадність процесу її диспергування.

- На підґрунті теоретичних і експериментальних досліджень розроблені технологічні процеси виготовлення різальних вузлів, довговічність яких в 3...5 разів вища, ніж тих, що виготовляються серійно.

- Розроблена і апробована у виробничих умовах подрібнювальна машина, різальний механізм якої дозволяє поєднувати дрібне і тонке подрібнення, що забезпечує економію електроенергії, належну дисперсність та якість фаршу.

- Розроблена інженерна методика визначення раціональних конструктивних параметрів м'ясоподрібнювальних машин, а також алгоритм і програма їх розрахунку, що дозволяє організувати автоматизоване проектування обладнання.

- Інституту продовольчих ресурсів НААН України, ПАТ «Полтавамаш», промисловим товариствам з обмеженою відповідальністю «ЕЛПОТЕХ», «СТРИМ», «Тирпласт», МП «Жаз» і «Кенч», ТДВ «М'ясокомбінат «Ятрань» та ін. передані експериментально перевірені рекомендації по конструюванню, виготовленню і експлуатації високоефективних подрібнювальних машин та різальних комплектів, що дає можливість підвищити ефективність подрібнення, якість фаршів і довговічність обладнання. Сумарний економічний ефект від впровадження результатів роботи склав 5906,1 тис. грн.

- Результати теоретичних і експериментальних досліджень включені в підручник, навчальні посібники і лекційні курси та використовується студентами при вивченні спеціальних дисциплін, виконанні науково-дослідних робіт, курсових і дипломних проектів у НУБіП України, НУХТ та інших ВНЗ.

Особистий внесок здобувача Дисертаційна робота виконана особисто автором. В ній узагальнені результати досліджень, виконаних безпосередньо дисертантом, або групою аспірантів і студентів магістратури під його керівництвом. В останньому випадку автор формулював мету, задачі і постановку роботи, аналізував і узагальнював разом з науковим консультантом Л.М. Хомічаком отримані результати. У матеріалах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить ідея, наукове обґрунтування теоретичних положень, підготовка та постановка експериментів, проведення аналізу отриманих даних, формулювання об'єктивних висновків.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідались та апробовані на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях: I і II Міжнародних науково-практичних конференціях молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», НУБіП України (м. Київ, 19-21 квітня 2010 р., 20-21 квітня 2011 р.); VIII Всеукраїнській науковій конференції студентів і молодих вчених «Молодь: освіта, наука, духовність», ВМУ-РоЛ «Україна» (м. Київ, 23-24 квітня 2011 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей», НУХТ (м. Київ, 22-23 березня 2012 р.); 66-й Всеукраїнській науковій студентській конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування», НУБіП України (м. Київ, 26-30 березня 2012 р.); XII Всеукраїнській конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування», НУБіП України (м. Київ, 2-6 квітня 2012 р.); VIII Между-

народной научной конференции студентов и аспирантов, МГУП (г. Могилев, 26 - 27 апреля 2012 г.), Modern scientific research and their practical application (Odessa, 2012); Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2012» (г. Одесса, 2012 г.), X Международной научно-практической конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе - 2012» (г. Калининград, 17-19 октября 2012 г.); II Міжнародній науково-технічній конференції «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей», НУХТ (м. Київ, 20-21 березня 2013 р.); Першій міжнародній спеціалізованій науково-практичній конференції «ВАНУ ЕХРО» (м. Київ, 2013 р.); Международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013» (г. Одесса, 2013 г.) та ін.

Публікації. Результати комплексних досліджень у повній мірі подано у 82 опублікованих наукових працях, в тому числі у 3-х монографіях, 1-му підручнику і 3-х навчальних посібниках з грифом МОН України, 46 статтях (з них 38 у фахових виданнях, 4 в зарубіжних виданнях, 12 одноосібних), 23 тезах доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Структура дисертації. Робота складається із вступу, шести розділів, висновків та пропозицій, списку використаних літературних джерел, який налічує 267 найменувань, у тому числі 16 іноземних та 32 додатків на 226 сторінках. Роботу викладено на 325 сторінках друкованого тексту, вона містить 106 рисунків, 24 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність і стан наукової проблеми, її актуальність і значимість, показано зв'язок роботи з науковими програмами і темами, сформульовано основні завдання досліджень, наведено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, інформацію про апробацію і опублікування результатів дисертації, а також дані про структуру роботи.

У першому розділі наведений аналіз літературних джерел, що окреслюють сучасний стан м'ясоподрібнювальних процесів у технологіях виробництва м'ясних і м'ясомістких продуктів. Охарактеризована сировина і ключові технологічні операції виготовлення ковбасних і м'ясомістких виробів. Описані фізико-хімічні властивості м'яса, їх зміна в процесі автолізу. Відмічено, що важливим є створення математичних моделей м'ясних біополімерів, аналітична та експериментальна оцінка структурно-механічних і фізико-хімічних властивостей м'яса та фаршів, визначення зусиль, необхідних для подрібнення колагенових та еластинових волокон, з'єднувальної тканини, що суттєво залежать від будови структурних складових і впливає на енергетичні показники різання.

Типова діаграма деформування при циклічному навантаженні розвантаженні м'язової тканини м'яса яловичини має ряд характерних ділянок (рис. 1).

Максимальна величина пружної деформації ε_y , досягнута у випробувальному циклі відповідає відрізку ВС. Інтервал CD характеризує високоеластичну деформацію ε_β , а інтервал DD' - залишкову ε_ψ . Таким чином під дією навантажень м'ясо піддається сумарній деформації:

$$\varepsilon = \varepsilon_y + \varepsilon_\beta + \varepsilon_\psi, \quad (1)$$

При подрібненні (рис. 2) тиск через ніж передається фаршу, який руйнується при напруженні, що перевищує граничне напруження різання (θ_r). При перемішуванні і формуванні фарш поводить себе подібно до тіла Бінгама, що по-

єднує пружність, в'язкість і пластичність. Загальна деформація механічної моделі фаршу дорівнює сумі деформацій

$$d\gamma = d\gamma_G + d\gamma_H + d\gamma_C + d\gamma_P, \quad (2)$$

де $d\gamma_G$, $d\gamma_H$, $d\gamma_C$, $d\gamma_P$ - деформації, відповідно, тіл Гука, Ньютона, Сен-Венана і елемента, що відбиває втрату міцності фаршу при різанні.

Зробивши ряд математичних перетворень отримали рівняння реологічної моделі фаршу:

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta - \theta_0 - \theta_P}{\eta_{пл}} \quad (3)$$

Моделювання поведінки пружньо-в'язко-пластичних м'ясних систем можна проводити на підґрунті не лише механічних моделей, але і електричних. Для складання електричної моделі замість реологічних моделей Гука, Ньютона і Сен-Венана можна застосувати моделі Генрі, Ома і Фарадея. Елементи Ома і Генрі з'єднані послідовно, а разом - паралельно з елементом Фарадея (рис. 3).

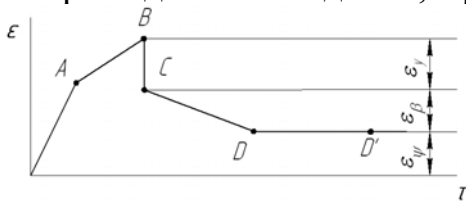


Рис. 1 – Типова діаграма деформування м'яса

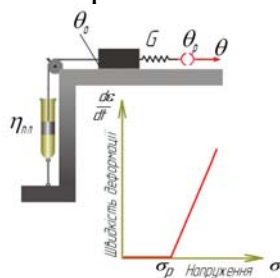


Рис. 2 – Механічна реологічна модель ковбасного фаршу при різанні

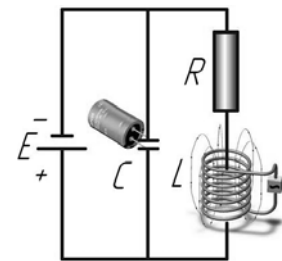


Рис. 3 – Електричний аналог механічної реологічної моделі ковбасного фаршу при різанні

Можна записати рівняння електричної аналогії моделі бінгамівського середовища:

$$I = 314 \cdot U \cdot C + \frac{U}{R + X_L}, \quad (4)$$

де R - електричний опір елемента Ома; C - ємність; U - напруга, В; X_L - електричний опір елемента Генрі.

Застосування електричних моделей спрощує дослідження пружньо-в'язко-пластичних властивостей м'ясопродуктів при їх подрібненні та змішуванні.

М'ясна сировина, що має однаковий хімічний склад, але різну ступінь подрібнення, володіє різними значеннями структурно-механічних характеристик (СМХ) і якісними показниками фаршів та готових виробів.

Проведений аналіз шнекових подрібнювальних машин дозволив намітити напрямки їх удосконалення: отвори у вихідних ґратках повинні бути нахиленими до площини різання і виконаним у вигляді конусів або сопел; приймальні ґратки повинні мати живий переріз, що збільшується по ходу обертання ножів; тиск на контакті ґраток і ножів повинен бути оптимальним для виключення руйнування сировини.

Машини для тонкого подрібнення поділяють за принципом роботи різального механізму. Подрібнювачі, що працюють за схемою «ніж — ґратка», порівняно прості за конструкцією, компактні. Однак при їх використанні спостерігається підвищене нагрівання подрібненого продукту за рахунок тертя ножів і ґратки, різальний механізм швидко спрацьовується і метал потрапляє у фарш. Колоїдні млини також спричиняють перегрівання фаршів і коагуляцію білків. Ножові подрібнювачі обладнані великою кількістю серпоподібних ножів, розміщених у нерухомому циліндричному корпусі. Загальний недолік цих подрібнювачів — значні витрати часу на переточування ножів.

Найпоширенішими машинами для тонкого подрібнення і приготування фаршу для ковбас є кутери періодичної й безперервної дії. Кутерування є недостатньо вивченим і досить інтенсивним механічним процесом різання, перемішування, масування, що викликає фізико-механічні і хімічні зміни у фарші. Для подрібнення м'ясопродуктів також використовують дезінтегратори, емульсифікатори та ін. машини.

- Відсутність єдиної класифікації м'ясоподрібнювальних машин, різальних органів, випадковий вибір матеріалів для їх виготовлення і зміцнення, призначення режимів подрібнення без урахування і постійного контролю реологічних вимог до сировини і фаршу свідчить про відсутність належного теоретичного і експериментального підґрунтя для призначення раціональних умов реалізації процесів, характеристик обладнання для досягнення максимальної енергоефективності подрібнення і якості м'ясних виробів.

У другому розділі розглянута взаємодія деталей подрібнювальних машин з технологічними середовищами м'ясопереробних підприємств. Деталі пар тертя м'ясоподрібнювальних машин, які працюють в технологічних середовищах, електрично заряджаються відносно розчину, що призводить до виникнення різниці потенціалів та зміни їх поверхневої енергії. Процес їх корозійно-механічного зношування (КМЗ) залежить від електродних потенціалів ϕ контактуючих поверхонь, виміряних по відношенню до деякого електроду порівняння, - фундаментальної характеристики електрохімічних систем.

На рис. 4 подані загальний вигляд і схема установки, конструкція якої запозичена в НУХТ, що нами модернізована і використана для потенціостатичних досліджень КМЗ. Застосована схема торцевого тертя, коли зразок 1 обертається відносно притиснутого до нього з навантаженням P нерухомого циліндричного зразка 2.

Поляризація системи і електрохімічні вимірювання виконувались за допомогою електрохімічної комірки, що є трьохелектродною системою. Вона складалася з досліджуваного (робочого) електроду (РЕ) - зразка 2 (чи 1), електроду порівняння (ЕП) (хлорсрібного), по відношенню до якого вимірювався ϕ , і допоміжного платинового електроду 3 (ДЕ), що утворював з ДЕ ланцюг поляризації. Вимірювались ϕ і знімалися поляризаційні криві за допомогою потенціостата 6 марки П-5827М, з'єднаного з електронним адаптером 7, системним комп'ютерним блоком 8, плоттером 9 і монітором 10. Система забезпечена динамометром для вимірювання моменту тертя (на рисунку не показаний).

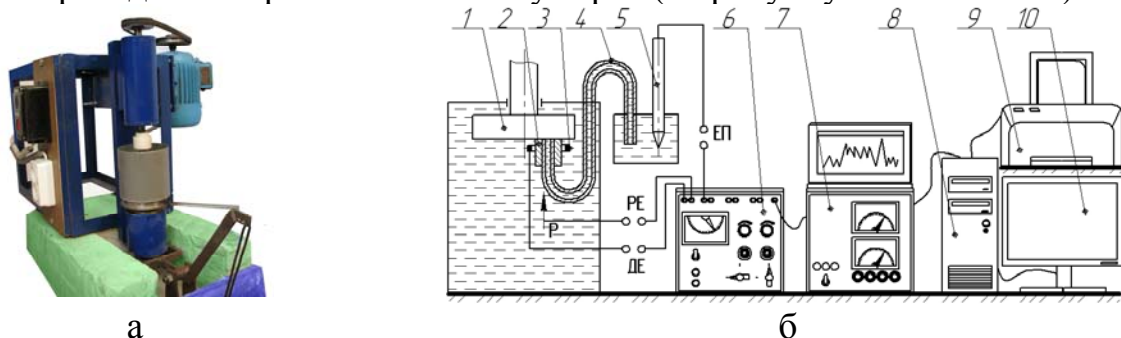


Рис. 4 – Загальний вигляд (а) і схема (б) установки для дослідження процесу тертя металів в електропровідних харчових середовищах потенціостатичним методом

Якщо замість верхнього металевого зразка поставити шліфувальний круг, то буде реалізований широко відомий метод зачистки поверхні металу під розчином. З його використанням вимірювався потенціал зачистки ϕ_3 . Зіставлення ϕ_3 і потенціалу тертя $\phi_{тр}$ характеризує поведінку плівок, що утворюються на по-

верхнях тертя. Потенціали поверхонь є такою ж важливою характеристикою, як твердість або межа міцності при оцінці механічних властивостей металів.

Було виявлено, що поляризація фрикційного контакту впливає на процеси еволюції дислокаційної структури поверхонь тертя матеріалів в м'ясних середовищах і може використовуватися для управління енергосиловими характеристиками процесів їх зношування.

Незалежно від величини рН корозійно-активні середовища (КАС) галузі сприяють локалізації деформації в більш тонких поверхневих шарах деталей у порівнянні з тертям без змащування. Тому багато деталей технологічного м'ясоподрібнювального обладнання піддаються значному зносу. В ряді випадків його інтенсивність настільки велика, що термін служби деяких деталей не досягає часом і декількох діб, наприклад, ножів м'ясоподрібнювальних вовчків, кутерів та інших подрібнювачів.

Плівки вторинних структур, бар'єрні і сорбовані шари на металах, що у подавляючій більшості випадків вирішально впливають на характер деформування і руйнування поверхонь тертя відповідальних деталей і різальних інструментів, мають напівпровідникові властивості, причому багато оксидів мають ГЦК структуру, як і монокристали кремнію та фториду літію, які були використані в дослідженнях. Для створення напруженого стану зразки монокристалів перед дослідом стискали в струбціні. У такому стані монокристали деформували індентором на мікротрибометрі, конструкція якого запропонована М.А. Сологубом і О.Є Новицьким (НУХТ).

Досліди проводили при терті індентора по зразку без змащування, у дистильованій воді (рН 7,0), яка є основою у хімічному складі м'яса, а також у м'ясному соку, відпресованому з одного зразка мускульної тканини парної телятини 2-ї категорії через 2 години після забою (рН 7,4) і через 240 годин (після повного завершення автолізу за температури 0°C (рН 5,5). Хімічний склад м'яса і кислотно-лужний баланс (рН) м'ясного соку був визначений в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України.

На мікротрибометрі було проведено вивчення впливу властивостей м'ясного соку, природи і структури монокристалічних і полікристалічних матеріалів, їх плоско- та об'ємно-напруженого стану на механо-фізичні та електрохімічні процеси при терті ковзання, а також на дислокаційну структуру деформованої зони. Вплив КАС на розвиток пружньо-пластичних деформацій у сталях при терті ковзання визначали методом фотопружності на зразках із відпаленої сталі 65Г, яку найчастіше застосовують для виготовлення м'ясорізальних інструментів.

Досвід експлуатації м'ясорізальних інструментів показує, що саме леговані інструментальні сталі мають обмежене використання в галузі, хоча за рядом фізико-механічних властивостей повинні були б отримати більш широке застосування. В сукупності це призводить до різкого зниження ефективності подрібнення та робить проблемним досягнення високого рівня якості продукції. Для оцінки силової взаємодії різальних органів машин з м'ясопродуктами застосували ряд установок і пристроїв для вимірювання зусиль різання при статичних, динамічних та суміщених режимах різання, а також установок для оцінки сил тертя і деформацій м'яса в процесі різання, переважна більшість яких була побудована автором за сприяння і під керівництвом професора М.М. Клименка у період спільної роботи на кафедрі м'ясних, рибних і морепродуктів НУБіП України.

Вивчення механічних властивостей м'яса краще всього здійснювати при випробуваннях їх на розривання. Робити ж виміри деформацій по базі зразка за допомогою давачів для таких тіл, як м'ясо, складає великі технічні труднощі через його дуже малу

жорсткість. Тому нами застосований метод, що ґрунтується на випробуванні зразків у вигляді круглої, тонкої мембрани, що навантажується рівномірним тиском.

В процесі експерименту вимірювався тиск P і найбільший прогин мембрани W , що відповідає цьому тиску. За геометричними співвідношеннями встановлювалися координати діаграми деформування $\sigma - \varepsilon$.

• Низька довговічність та ефективність м'ясоподрібнювального обладнання, зокрема різальних інструментів, пов'язана, перш за все, з невдалим вибором матеріалів і зміцнювальної обробки при виготовленні деталей, специфікою їх некерованої взаємодії з технологічними середовищами галузі, яка включає складний комплекс механічних, фізичних та електрохімічних процесів, що впливають на дислокаційну структуру, електродні потенціали, енергетичний стан зношувальних поверхонь, що не регулюється, призводить до зменшення його продуктивності та енергоефективності, зниження СМХ і якості фаршів та готових виробів і значних втрат на відновлення працездатності машин.

У третьому розділі досліджено взаємозв'язок процесу подрібнення сировини різного походження і хімічного складу з реологічними показниками і якістю фаршів та готових виробів.

Аналізуючи склад сирокочених ковбас, які виробляються м'ясопереробними підприємствами, прийшли до висновку, що в їх рецептурах переважно використовується яловичина вищого і першого ґатунку, а також нежирна свинина, які були вибрані за об'єкти досліджень.

Хімічний склад сировини, реологічні та органолептичні характеристики м'ясопродуктів визначали стандартними методами. В кожному зразку визначали кількість води W , білка B , жиру φ , золи Zl і вологовміст U (вміст води на 1 кг абсолютно сухої речовини, яка включає і золу).

З реологічних характеристик вибрана найбільш чутлива до змін хімічного складу подрібненої м'ясної сировини – граничне напруження зсуву (ГНЗ). Статичне ГНЗ (θ_0) визначали на пенетрометрі ПМДП, а динамічне ($\theta_{од}$) – на ППМ-4М (ГОСТ 50814-95).

Прийнявши у яловичині вищого ґатунку за середнє значення вміст жиру рівний 1,4% ($0,8 \div 2,0$), білка 19,24% ($19,0 \div 19,5$) і золи 3,6% ($3,4 \div 3,8$), розглянемо зміну статичного θ_0 і динамічного $\theta_{од}$ ГНЗ фаршу, подрібненого у вовчку К6-ФВЗП-200 з діаметром отворів у ґратці 3 мм, в залежності від вологості. Ці ж параметри розглянемо для яловичини 1 ґатунку і свинини нежирної (рис. 5, а).

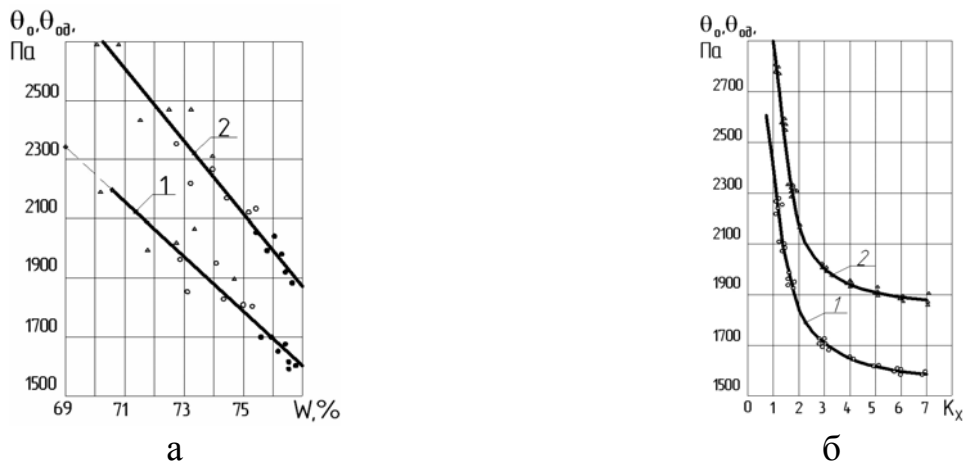


Рис. 5 – Залежності статичного θ_0 (1) і динамічного $\theta_{од}$ (2) граничного напруження зсуву фаршу, подрібненого у вовчку з діаметром отворів у ґратці $d_{отв}=3$ мм, від його вологості W (а) і критерію хімічного складу K_x (б): ● - яловичина в/г; ○ - яловичина 1 г; Δ - нежирна свинина

Очевидний взаємозв'язок між ГНЗ і вологістю сировини, який не залежить від її виду і гатунку та може бути апроксимований прямою:

$$\theta_0 \text{ чи } \theta_{od} = A(1 - a \cdot W), \quad (5)$$

де A і a - емпіричні коефіцієнти, W - вологість сировини в долях одиниць.

Величина ГНЗ дорівнює нулю при $a \cdot W_{кр} = 1$,

де a - коефіцієнт, який побічно характеризує темп зменшення величини ГНЗ від збільшення вологості, причому $W_{кр}$ - істинне значенням темпу зміни, що дорівнює тангенсу кута нахилу прямої (1).

Для статичного ГНЗ: $A=9500$; $a=1,08$; для динамічного ГНЗ: $A=11800$; $a=1,1$, тоді:

$$\theta_0 = 9150(1 - 1,08 \cdot W), W_{кр} = 0,926; \quad \theta_{od} = 11800(1 - 1,1 \cdot W), W_{кр} = 0,926 \quad (6)$$

Структурно-механічні характеристики сировини залежать від хімічного складу, зокрема від вмісту білка, жиру, вологи. Для того щоб комплексно урахувати хімічний склад м'ясної сировини скористаємось критерієм хімічного складу, запропонованим Сюткіним С.В.:

$$K_x = B/\varphi \cdot U, \quad (7)$$

де B і φ - вміст, відповідно, білка і жиру в 1 кг сировини, дол.од; U - вологовміст сировини, дол.од.

Графічна залежність зміни статичного і динамічного ГНЗ сировини від критерію хімічного складу K_x подана на рис. 5,б.

Математична обробка цієї залежності дозволила отримати наступне рівняння:

$$\theta_0 \text{ чи } \theta_{od} = A(a + K_x^{-1}), \quad (8)$$

де A і a - емпіричні коефіцієнти.

Для статичного ГНЗ: $A=604$, $a=2,5$; для динамічного ГНЗ: $A = 750$; $a = 2,4$, тоді

$$\theta_0 = 604(2,5 - K_x^{-1}), \text{ Па}; \quad \theta_{od} = 750(2,4 - K_x^{-1}), \text{ Па} \quad (9)$$

Похибка у розрахунках за цими залежностями не перевищує $\pm 2,5\%$.

Кінетика зміни статичного (рис. 6,а) і динамічного (рис. 6,б) ГНЗ дисперсного середовища фаршу для різних видів ковбас від терміну подрібнення на лабораторному кутері (ЛК) з об'ємом чаші 8 л., частотою обертання ножів $n_n = 1200 \text{ хв}^{-1}$ і чаші $n_ч = 8 \text{ хв}^{-1}$ дозволяє заключити, що характер зміни статичного θ_0 і динамічного θ_{od} ГНЗ для різних за рецептурою сирокочених ковбас аналогічний.

Екстремальна точка на графіках характеризує кінець утворення первинної структури з мінімальною вологовз'язувальною здатністю і відповідає оптимальним значенням θ_0^{onm} і θ_{od}^{onm} , визначаючим термін подрібнення фаршу з сировини відповідного виду, гатунку і хімічного складу.

Для аналітичного узагальнення функції $\theta_0 = f(\tau_k)$ можна запропонувати

$$\text{рівняння:} \quad \theta_0 = A(1 - \tau_k/\tau_k^{onm})^2 + \theta_0^{onm}; \quad \theta_{od} = A_1(1 - \tau_k/\tau_k^{onm})^2 + \theta_{od}^{onm} \quad (10)$$

де θ_0, θ_{od} - значення, відповідно, статичного і динамічного ГНЗ дисперсного середовища фаршу сирокочених ковбас; A - емпіричний коефіцієнт, що залежить від рецептури ковбаси, Па; τ_k - заданий термін подрібнення, с τ_k^{opt} - оптимальний термін подрібнення, що відповідає оптимальному мінімальному значенню ГНЗ (θ_{od}^{opt} , Па).

Математично опрацювавши отриманий експериментальний матеріал, отримали наступні залежності:

$$\Theta_0^{opt} = 720 + 300/K_x = 300(2.4 + K_x^{-1}) \quad (11)$$

$$\Theta_{od}^{opt} = 874 + 380/K_x = 380(2.3 + K_x^{-1}) \quad (12)$$

$$\tau_k^{opt} = 640 + 96 K_x = 640(1 + 0.15 K_x) \quad (13)$$

$$A = 767 + 350/K_x = 350(2.19 + K_x^{-1}) \quad (14)$$

$$A_1 = 920 + 465/K_x = 465(1.98 + K_x^{-1}) \quad (15)$$

Використовуючи ці формули, оптимізували процес отримання фаршу для сирокочених ковбас на лабораторному кутері.

У виробничих умовах процес тонкого подрібнення значно прискорений. Тому для подальших досліджень вибрали промисловий кутер з місткістю чаші 250 л (СК), який забезпечує підвищену продуктивність. Кількість серповидних ножів збільшилась до 6. Частота обертання ножів складала 1325 хв^{-1} , а чаші $9,1 \text{ хв}^{-1}$. Результати експериментів подані на рис. 7. Досліджували також подрібнення на великому кутері (ВК) з вмістом чаші 500 л.

Математична обробка кривих (рис. 7) дозволила отримати наступні залежності:

$$\Theta_0^{opt} = 300(2.4 + K_x^{-1}); \Theta_{od}^{opt} = 375(2.3 + K_x^{-1}) \quad (16)$$

$$\tau_k^{opt} = 325 \exp(0.1 K_x), \text{ с, або } \tau_k^{opt} = 38.8(8.35 + K_x), \text{ с} \quad (17)$$

Отримані рівняння схожі з раніше отриманими рівняннями, описуючими подрібнення фаршу на кутері ЛК і відрізняються лише коефіцієнтами.

Таким чином, оптимальні значення ГНЗ фаршу залежать від його хімічного складу і майже не залежать від продуктивності використаного кутера. Оптимальна ж тривалість подрібнення фаршу суттєво залежить від виду кутера, що використовується, його геометричних і кінематичних параметрів.

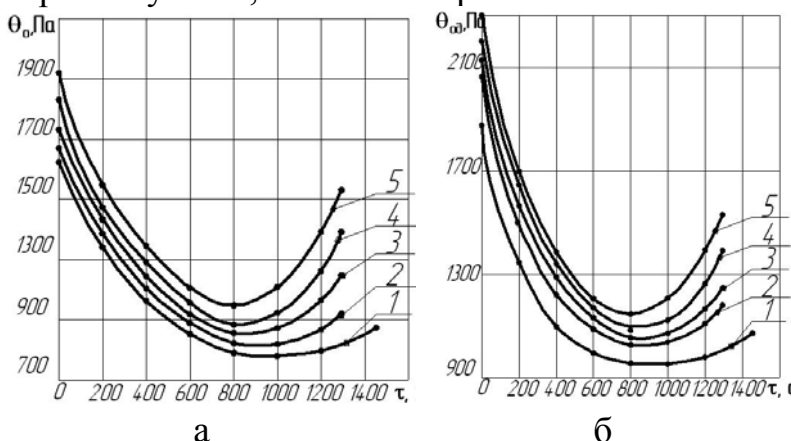


Рис. 6 – Кінетика зміни статичного θ_0 (а) і динамічного θ_{od} (б) граничного напруження зсуву від тривалості подрібнення τ на кутері дисперсного середовища для фаршу сирокочених ковбас: 1 – Фантазія; 2 – Московська; 3 – Любительська, 4 – Радянська; 5 – Свиняча

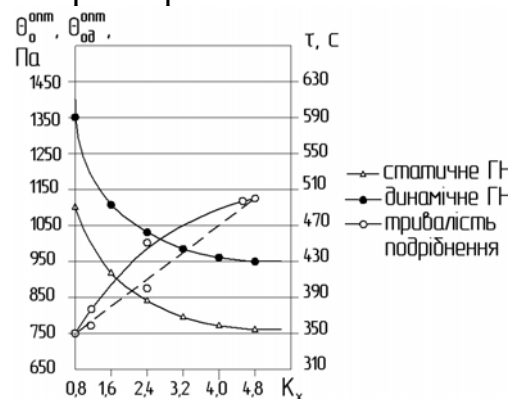


Рис. 7. Залежність оптимальних значень статичного і динамічного ГНЗ та тривалості подрібнення від критерію хімічного складу дисперсного середовища фаршу для сирокочених ковбас (кутер СК)

Для кутерів ЛК і СК оптимальна тривалість подрібнення відрізняється більше ніж в 2 рази. Емпіричні залежності для розрахунку величини ГНЗ у довільний момент часу:

$$\Theta_0 = A(\tau_k - \tau_k^{оп})^2 + \Theta_0^{оп}; \quad \Theta_{0д} = A_1(\tau_k - \tau_k^{оп})^2 + \Theta_{0д}^{оп} \quad (18)$$

Для визначення оптимального режиму тонкого подрібнення дисперсного середовища фаршу для сирокочених ковбас з різним хімічним складом на довільній моделі кутера з урахуванням його геометричних і кінематичних параметрів використали узагальнену характеристику подрібнювальної машини Ω , яка запропонована Пелєєвим А.І. Враховували, що оптимальна тривалість кутерування підпорядковується експоненційній залежності загального вигляду:

$$\tau_k^{оп} = A \exp(0.1K_x), \quad (19)$$

де A – коефіцієнт, який залежить від моделі кутера, що має конкретні геометричні і кінематичні параметри.

Побудувавши графічну залежність $A=f(\Omega)$ (рис. 8), отримали криву, яка апроксимується залежністю:

$$A = a \Omega^{-1}, \text{ с} \quad (20)$$

де a – коефіцієнт, який має розмірність $\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}$ і величину $86 \cdot 10^3$.

Тоді $\tau_k^{оп} = a \exp(0.1K_x) \cdot \Omega^{-1} = 86 \cdot 10^3 \exp(0.1K_x) \Omega^{-1}, \text{ с}$ (21)

Отримана узагальнююча залежність (21), яка дозволяє визначити оптимальну тривалість подрібнення фаршу для різних видів ковбас на довільному кутері.

Для отримання узагальнюючої залежності ГНЗ від часу кутерування побудували графік з відносними координатами $\Theta_{0д}/\Theta_{0д}^{оп} = f(\tau_k/\tau_k^{оп})$, подану на рис. 9. Математична обробка кривої дозволила отримати наступну залежність, за якою можна визначити ГНЗ у довільний момент часу:

$$\Theta_0 = [1.09(1 - \tau_k/\tau_k^{оп})^2 + 1] \cdot \Theta_0^{оп}, \quad \Theta_{0д} = [1.09(1 - \tau_k/\tau_k^{оп})^2 + 1] \cdot \Theta_{0д}^{оп} \quad (22)$$

Таким чином, запропонована методика прогнозування і розрахунку якості (консистенції) фаршу в процесі подрібнення, яка оцінюється за СМХ.

Кінетика зміни відносної втрати маси Δm_0 і вологості батона W сирокоченої ковбаси «Московська» у часі під час сушки за різних ступенів подрібнення фаршу подана на рис. 10.

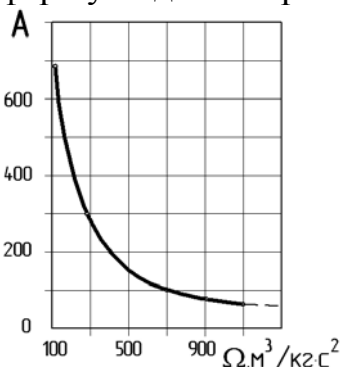


Рис. 8 – Залежність коефіцієнта A до рівняння для розрахунку оптимальної тривалості подрібнення фаршу сирокочених ковбас від узагальнюючої кінематичної характеристики кутера

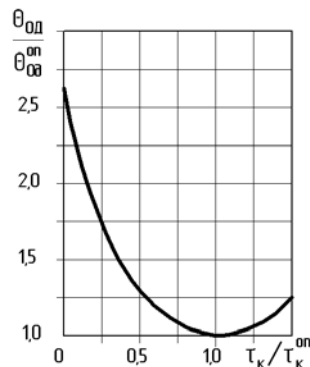


Рис. 9 – Залежність відносного статичного і динамічного граничного напруження зсуву (ГНЗ) дисперсного середовища фаршу сирокочених ковбас від відносної тривалості подрібнення

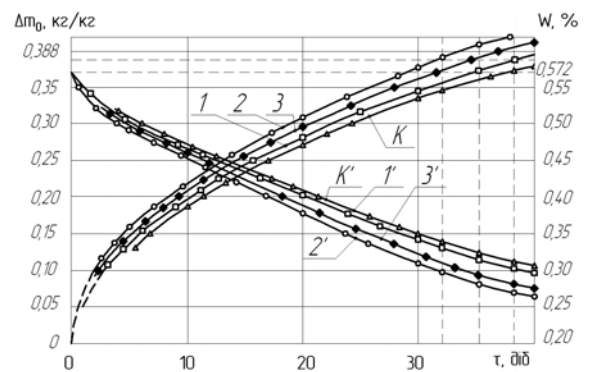


Рис. 10. Вплив ступеня подрібнення (терміну кутерування) на кінетику сушки дисперсного середовища фаршу ковбаси «Московська»: K, K' - 0с; 1, 1' - 100 с; 2, 2' - 250 с; 3, 3' - 330 с; 1, 2, 3 - $\Delta m_0(\tau)$; 1', 2', 3' = $w(\tau)$

Характер зміни втрат маси в процесі сушки сировокопченої ковбаси з різним ступенем подрібнення фаршу подібний та підкоряється залежності

$$\Delta m_0 = A \cdot \tau_{oc}^{0,5}, \quad (23)$$

де A – коефіцієнт, який характеризує зміну відносної втрати маси в процесі сушки ковбаси і залежить від терміну подрібнення дисперсного середовища фаршу: 0 с – 0,061; 100 с – 0,063; 250 с – 0,069; 330 с – 0,066; τ_{oc} - відносна тривалість сушки, тобто τ_c/τ_1 ; τ_c - тривалість сушки, діб; τ_1 - одинична тривалість сушки, тобто $\tau_1 = 1$ доби.

Виразивши тривалість подрібнення дисперсного середовища фаршу через відносну величину (τ_c/τ_{opt}), отримали наступну залежність:

$$\Delta m_0 = \left[A_{opt} - 0,017 \left(1 - \tau_c/\tau_{opt} \right)^2 \right] \cdot \tau_{oc}^{0,5} \quad (24)$$

де A_{opt} - коефіцієнт, який відповідає оптимальній тривалості подрібнення.

Тривалість сушки при оптимальному ступені подрібнення скорочується майже на 21% у порівнянні з контрольним зразком.

Тонке подрібнення фаршу для варених ковбас забезпечує утворення таких частинок, поверхня яких, на відміну від фаршу сировокопчених ковбас, зв'язує максимальну кількість вологи, утворюючи однорідну гомогенну масу з певними СМХ. Тривалість подрібнення різна і залежить від кінематичних характеристик вибраних машин та конструкцій різальних вузлів.

Для визначення оптимальних режимів подрібнення фаршу використали: лабораторний кутер (ЛК) з місткістю чаші 8 л, кутер малої моделі (МК) з місткістю чаші 80 л, середньої продуктивності (СК) з місткістю чаші 120 л і 160 л і великої моделі (ВК) з місткістю чаші 300 л.

За об'єкти досліджень були вибрані "модельний" фарш, який складався з різних співвідношень яловичини, свинини і шпика, а також виробничі композиції фаршу для різних видів ковбасних виробів, які за рецептурою містять різні кількості яловичини, свинини і жиру. В експериментах використовували переважно м'ясо, заздалегідь подрібнене на вовчках з ґратками діаметром 3 мм.

Зміни СМХ фаршів, в залежності від тривалості подрібнення (τ_k , хв) і вологовмісту (U_n , кг вологи/кг сухого продукту), розглянемо на прикладі фаршу російських сосисок (50% яловичини і 50% свинини), подрібненого на кутерах МК і ВК (рис. 11).

Величина пластичної в'язкості (ПВ) в перший період кутерування знижувалася, досягаючи мінімального значення, а в другому - підвищувалась (рис. 11). Подібно до ГНЗ, ефективна в'язкість (B) і липкість фаршу (p_0 , Па) під час кутерування підвищувалась і, досягнувши максимальної величини, зменшувалась, а втрата маси виробів при термообробці $m_{ж}$ зростала.

Час кутерування, за якого структура фаршу при реальному вологовмісті найбільш однорідна і більшість його показників досягає екстремальних значень (кінець першого періоду), а готові ковбасні вироби з цього фаршу мають найкращу якість за консистенцією, є екстремальною тривалістю подрібнення ($\tau_{к.е.}$).

Для з'ясування механізму формування структури ковбасного фаршу при подрібненні були проведені комплексні фізико-хімічні дослідження, що включали визначення розчинності білків у розчинниках з низькою і високою іонною силою, водозв'язувальної здатності і реологічних характеристик фаршу.

Кількість білків, здатних переходити у безперервну фазу фаршу, залежить і від тривалості подрібнення і від хімічного складу сировини. Так, максимальна кількість білків з яловичого фаршу переходить з клітинних структур у безпере-

рвну фазу на 3 хв. раніше, ніж з багатокомпонентного фаршу, що складається з 50% яловичини, 30% свинини і 20% шпика, що добре узгоджується з даними зміни водозв'язувальної здатності, розмірами частинок сировини і реологічними характеристиками. Міцність структурної ґратки фаршу визначається кількістю кислих і лужних полярних груп, які розташовані на поверхні білкових молекул. Максимальна їх кількість утворюється за екстремальної тривалості подрібнення і критичного вологовмісту.

На рис. 12 подані характерні криві зміни $\tau_{к.е.}$ від U_n фаршу, подрібненого на розповсюдженому в м'ясопереробній промисловості кутері Л5-ФКН, за якими легко знайти оптимальні значення $\tau_{к.е.}^{opt}$ і U_n^{opt} .

Характеристики фаршу і готових виробів за цих параметрів - еталонні, тому що саме за таких умов будуть забезпечені максимальні вихід і якість готової продукції. Оптимальний режим подрібнення при еталонних характеристиках фаршу вимагає менших витрат машинного часу, тобто економічно найбільш вигідний за енергетичними витратами і продуктивністю машини. Оптимальний вологовміст в першому наближенні залежатиме від вмісту у фарші яловичини, яка поглинає максимальну кількість вологи.

Для кожної моделі застосованого кутера, на основі експериментальних даних, була отримана залежність для визначення $\tau_{к.е.}^{opt}$. Для отримання залежності з визначення $\tau_{к.е.}^{opt}$ для будь-якої конструкції подрібнювальної машини, використали її узагальнену кінематичну характеристику Ω яка враховує різальну здатність і кінематику рухомих вузлів:

$$\tau_{к.е.}^{opt} = A_1 \cdot K \cdot K_p \cdot [\exp(0,25 \cdot m_{ялов} + 0,46)] \cdot \Omega^{-1}, \text{ хв.}, \quad (25)$$

де $A_1 = 10^5$ - коефіцієнт, який має розмірність, $\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}$; K - коефіцієнт пропорційності, який враховує нерівномірність зусиль, які необхідні для різання різних сортів яловичини і свинини; K_p - характеризує різальну здатність (гостроту) ножів; $m_{ялов}$ - вміст яловичини в долях одиниць від загальної кількості сировини.

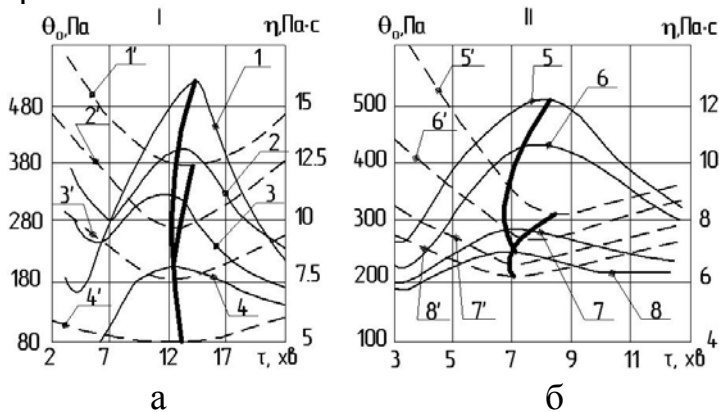


Рис. 11 – Зміна ПВ (штрихова лінія) і ГНЗ (суцільна лінія) для зруйнованої структури фаршу: 1-8 - криві, заміряні на ротаційному віскозиметрі; 1'-8' - криві, заміряні на конічному пластометрі; а - кутер МК; б - кутер ВК; U_n : 1-2, 21, 2-2,44, 3-2,70, 4-3,01, 5-2,06, 6-2,30, 7-2,55, 8-2,98

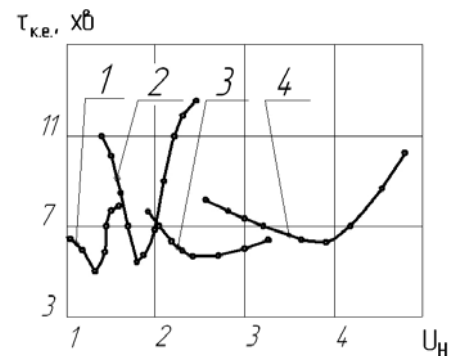


Рис. 12 – Залежність екстремальної тривалості подрібнення від вологовмісту фаршу: 1 - свинячих сарделок; 2 - докторської ковбаси; 3 - російських сосисок; 4 - яловичих сарделок

Запропоновані 2 способи розрахунку режимів подрібнення фаршів для варених ковбас. За першим способом оптимальну тривалість подрібнення визначають з урахуванням зусиль, необхідних для розрізання складових рецептури фаршу, технічних характеристик машини для тонкого подрібнення, оптимального вологовмісту ковбасних фаршів та вологості сировини. За другим способом оптимальний термін подрібнення визначають з урахуванням вологовмісту і

жирності сировини, типу подрібнювальної машини, оптимального вологовмісту готових виробів та кількості вологи, що додається.

Виявилось, що напруження зрізу готового продукту досягає максимального значення за екстремальної тривалості подрібнення фаршу. Робота зминання фаршу також залежить від тривалості подрібнення, причому екстремальні величини цієї роботи для фаршу, отриманого на різних подрібнювальних машинах, однакові. Змінюючи СМХ фаршу на основі об'єктивних критеріїв їх оцінки, можна добитися отримання продукції високої якості. Комплекс СМХ також потрібний для прогнозування якості нових видів продуктів.

- Виконані експериментальні дослідження та отримані математичні моделі процесів, що враховують властивості сировини та характеристики обладнання для подрібнення м'яса дозволили: визначити оптимальний термін її обробки на машинах з різною різальною здатністю (узагальненою кінематичною характеристикою); виявити взаємозв'язок зміни міцностних (граничне напруження зрізу), енергетичних (робота зрізу і зминання), компресійних (відносна об'ємна деформація, модуль пружності, період релаксації) і зсувних (граничне напруження зсуву, пластична і ефективна в'язкість) характеристик фаршу і готових виробів з сировини з різним критерієм хімічного складу та ступенем подрібнення; запропонувати математичний апарат, розробити методика розрахунку і прогнозувати якість фаршів і готових м'ясних виробів та застосувати їх для призначення контрольованих і керованих режимів фаршеприготування, конструювання технологічного обладнання, розробки нових рецептур; скоротити тривалість сушки і термооброблення та збільшити вихід якісних продуктів, що забезпечує енерго- та ресурсоощадність виробництва.

У четвертому розділі подані фізико-технічні основи класифікації подрібнювальних процесів і машин та оцінці їх ефективності при обробленні різновидів м'яса.

Найчастіше для оцінки ефективності роботи подрібнювачів за критерій використовують коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{A_{\Pi}}{A_{\Pi} + A_{\gamma} + A_{\sigma}}, \quad (26)$$

де A_{Π} - робота утворення нової поверхні, Дж; A_{γ} - робота пружної деформації; A_{σ} - робота пластичної деформації.

Цей показник фізично цілком обґрунтований, оскільки показує відношення корисних витрат енергії до загальних. Разом з тим, практичне застосування критерію ускладнене. Для розрахунку A_{Π} у формулі (26) П.А. Ребіндера необхідно знати величину коефіцієнта пропорційності K_S , інформація про який також обмежена:

$$A_{\Pi} = K_S \cdot \Delta S, \text{ Дж} \quad (27)$$

де ΔS - приріст площі нової поверхні, м^2 , K_S - коефіцієнт пропорційності.

Продуктивність подрібнювачів, виражена в кілограмах або тоннах за годину, ніяк не характеризує ефективність їх роботи. Більш доцільно виражати її у прирості нової поверхні частинок м'яса ΔS $\text{м}^2/\text{год}$:

$$\Delta S = \frac{6G_M}{\psi \cdot \rho_M \cdot d_{e_1}} (i - 1), \text{ м}^2/\text{с} \quad (28)$$

У формулу (28) входять найчастіше вживані у промисловій практиці параметри: продуктивність машини G_M , міра подрібнення $i = d_{e_1} / d_{e_2}$ (середній початковий і кінцевий розмір часток подрібнюваного м'яса), густина матеріалу ρ_M , початковий розмір часток d_{e_1} , а чинник форми частинки ψ (відношення площі

поверхні частинки неправильної форми до площі поверхні еквівалентної сфери діаметром d_e) є табличною величиною, відомою для різних матеріалів.

Параметр енергетичної ефективності процесу - це відношення технологічного результату подрібнення (ΔS), до сумарних енергетичних витрат (N) в одиниці робочого об'єму (V_A) подрібнювача:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{V_A \cdot N} \quad (29)$$

Параметр енергетичної ефективності ε буде тим вищим, чим більший приріст нової поверхні буде досягнутий для міцнішої сировини при менших енергетичних витратах і мінімальному об'ємі подрібнювальної камери.

Руйнування м'яса значно відрізняється від руйнування тіл з однорідною структурою. При стиснутому різанні сировини (наприклад, у вовчках) відмічено, що при зниженні пропускної спроможності різального механізму, або при надмірній подачі м'ясної сировини, металевий шнек починає руйнувати структуру м'яса, перетирати його, вичавлювати сік. Гістологічними дослідженнями встановлено, що структура яловичини починає руйнуватися, якщо протискування через ґратки відбувається при тиску більшому за 3,7 МПа, а свинини – при тиску більшому 2,5 МПа.

З використанням математичної моделі процесу та з урахуванням допустимих тисків на різновиди сировини виконаний розрахунок вигину витків шнека з еластичною зовнішньою гвинтовою поверхнею, утвореною запропонованими фторопластовими електрофоретичними покриттями, методом кінцевих елементів, отримані вихідні дані для конструювання гнучких шнеків, які використовуються у вовчках.

Характерною особливістю всіх запропонованих класифікаційно-структурних схем подрібнювачів є та, що в їх основу покладений поділ способів і пристроїв за дискретними ознаками. Жодна із запропонованих класифікацій не дозволяє провести узагальнюючий аналіз існуючих конструкцій через наявність безлічі дискретних класифікаційних ознак та бути основою для синтезу нових видів устаткування.

В результаті аналізу процесів, що відбуваються при подрібненні біополімерів м'яса і схожих за властивостями хімічних полімерів у механічних пристроях встановлено, що їх дискретними ознаками є лише структурні схеми обладнання, що визначають характер руху матеріалу під час технологічної обробки і виділено наступні основні параметри, які можуть бути описані безперервними функціями: геометричні і кінематичні параметри робочих органів; геометричні характеристики матеріалу; фізико-механічні властивості м'яса в залежності від технологічних умов подрібнення (температури, швидкості і умов деформування).

Очевидно, що геометричні параметри робочих органів подрібнювального обладнання характеризують потенційну інтенсивність технологічної дії на м'ясо:

$$I_0 = S_a / \sum S_p, \quad (30)$$

де S_a - площа перетину робочої порожнини подрібнювача у напрямку нормалі до відносної швидкості основного потоку сировини і робочих органів; $\sum S_p$ - сумарна площа проекції ефективної поверхні робочих органів, яка має безпосередній контакт з м'ясом, на площу S_a (очевидно, що $0 < I_0 \leq 1$).

Ступінь заповнення робочої порожнини подрібнювача сировиною:

$$0 < V_m(t) / O_{II} \leq 1. \quad (31)$$

де $V_m(t)$ - кількість матеріалу в подрібнювачі в даний момент часу; O_{II} - об'єм робочої порожнини подрібнювача.

Тоді дійсний коефіцієнт інтенсивності технологічної дії:

$$I_o = I_o(V_m(t)/O_{II}). \quad (32)$$

Опір м'яса подрібненню залежить від його механічних властивостей і від наявності дефектів і тріщин, кількість яких можна виразити через питому площу вільної поверхні:

$$S_{num} = S_m/V_m, \quad (33)$$

де S_m - площа вільної поверхні в об'ємі V_m матеріалу.

Для досягнення початку руйнування суцільного бездефектного об'єму V_m м'яса потрібно виконати роботу:

$$A = [w] \cdot V_m, \quad (34)$$

де $[w]$ - граничне значення питомої енергії деформації, перевищення якого супроводжується скиданням механічної енергії на утворення нової поверхні.

Наступне прирощення роботи деформування призводить до утворення нової поверхні:

$$dS_m = dA/\alpha^S, \quad (35)$$

де α^S - питома енергія утворення одиниці площі вільної поверхні сировини (Дж/м²).

Початкові умови розв'язання рівняння (35): $S = 0$ при $A = [w] \cdot V_m$ (36)

Така оцінка інтенсивності дії робочих органів на сировину буде справедливою для всіх типів механічних м'ясоподрібнювальних машин.

Кінематичні характеристики робочих органів можуть бути описані рівняннями руху, а геометричні характеристики сировини можна подати за допомогою функції зміни її площі вільної поверхні. Опір мяса деформуванню, міцність і сили тертя та їх залежність від температури, швидкості та умов деформування можна описати на основі експериментальних досліджень та теоретичних відомостей з фізики і механіки біополімерів м'яса та подібних хімічних полімерів.

Для визначення характерних ознак пристроїв для подрібнення, що мають дискретний характер, нами проведений аналіз можливих структур потоків подрібнюваної м'ясної сировини, що складає математичний опис їх гідродинамічної структури, особливості якої визначають ефективність роботи подрібнювачів. Розглянуті моделі ідеального витискання, повного перемішування, дифузійна, осередкова та ін.

На відміну від хімічних процесів, які характеризуються безперервними, монотонними кінетичними рівняннями, механічне подрібнення може відбуватися за рахунок ряду окремих актів руйнування матеріалу. Тому цей процес доцільно подати у вигляді послідовного ланцюга з комірок, кожна з яких характеризується стаціонарними умовами руху, деформування і руйнування сировини. Кожна комірка характеризується певною інтенсивністю і умовами технологічної дії робочих органів на м'ясо. При проходженні i -ї комірки вільна поверхня матеріалу змінюється до величини S_{i+1} . В залежності від виду подрібнювача кількість комірок може складати: $n = 1$ - при одноразовому навантаженні і руйнуванні певного об'єму матеріалу V_m ; $n = k$ - при дискретному деформуванні

об'єму V_m k разів; $n = \infty$ - при монотонно зростаючій інтенсивності деформування протягом часу перебування матеріалу в подрібнювачі. В залежності від структури матеріального потоку і значення n подрібнювачі можна класифікувати за схемою, поданою на рис. 13.

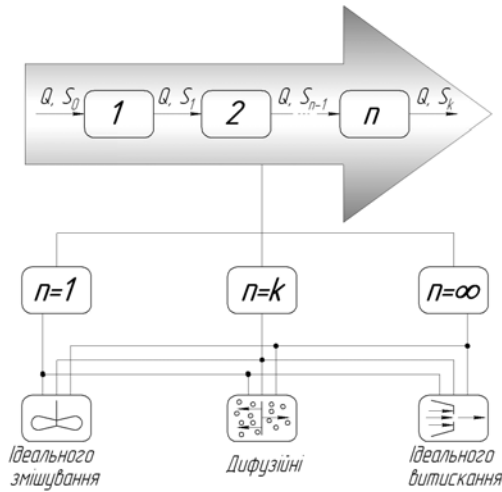


Рис. 13 – Схема класифікації пристроїв для подрібнення за структурою потоків матеріалу

Всі існуючі подрібнювачі поділені на 9-ть типів: 1 – з ідеальним витисканням сировини і кратністю механічної дії $n=1$; 2 – з ідеальним витисканням сировини і кратністю механічної дії $n=k$; 3 – з ідеальним витисканням сировини і кратністю механічної дії $n=\infty$; 4 – з дифузійною схемою потоку матеріалу і кратністю механічної дії $n=1$; 5 – з дифузійною схемою потоку сировини і кратністю механічної дії $n=k$; 6 – з дифузійною схемою потоку сировини і кратністю механічної дії $n=\infty$; 7 – з структурною схемою потоку матеріалу ідеального змішування і кратністю механічної дії $n=1$; 8 – з схемою потоку ідеального змішування і кратністю механічної дії $n=k$; 9 – з схемою потоку матеріалу ідеального змішування і кратністю механічної дії $n=\infty$.

Отже, дискретні ознаки подрібнювальних машин зведені до дев'яти структурних схем матеріальних потоків. По кожній структурній схемі визначені характерні рівняння кінетики збільшення площі вільної поверхні сировини S при подрібненні в залежності від координати її переміщення x , значення інтенсивності технологічної дії I , вид функції подрібнення і вид розподілу розмірів продукту подрібнення, наведені приклади втілення в реальних машинах. Загальний вигляд рівнянь кінетики подрібнення та приклади реалізації для названих типів машин наступні: 1 - $\frac{dS}{dt} = f(x)$ - одноступеневі ріжучі, пили, пластовочні маши-

ни; 2 - $\frac{dS}{dt} = \sum_{I=I_1, S=S_0}^{I=I_n, S=S_k} f(x)$ - багатоступеневі ріжучі, дробарки, силові подрібнювачі;

3 - $\frac{dS}{dt} = f(t, I(S), I(x))$ - валкові, конусні, камерні, вовчки; 4 - $\frac{dS}{dt} = f(t, I(S))$ - роторні ріжучі, ударної дії з колосниковою ґраткою, струменеві; 5 -

$\frac{dS}{dt} = \sum_{I=I_1, S=S_0}^{I=I_n, S=S_k} f(t, I(S), I_k)$ - дисмембратори, дезінтегратори; 6 - $\frac{dS}{dt} = f(t, I(S), I(x))$ - не ре-

алізовані; 7 - $\frac{dS}{dt} = f(t, I(S))$ - барабанні, вібрмлини; 8 - $\frac{dS}{dt} = \sum_{I=I_1, S=S_0}^{I=I_n, S=S_k} f(t, I(S), I(x))$ - ку-

тери, барабанні багатоступеневі, колоїдні млини, емульситатори; 9 - $\frac{dS}{dt} = f(t, I(S), I(t))$ - не реалізовані.

Більшість способів подрібнення переважно базуються на комбінації двох методів деформаційного навантаження - стисканні чи розтягуванні руйнованого тіла в квазістатичному і динамічному режимах, причому деформується весь

об'єм тіла. Для оцінки коефіцієнта використання енергії K за цих способів подрібнення проведений наступний уявний експеримент. Циліндричний бездефектний зразок теоретичної міцності завдовжки l , складений з набору атомних площин, розташованих на відстані d , розтягується до руйнування всіх атомних площин. Приймаючи $l=20$ мм і $d=2 \cdot 10^{-10}$, знайшли $K=10^{-8}$. Така надзвичайно низька енергоефективність - наслідок прикладення зовнішніх сил до всього об'єму зразка. Гіпотетичний експеримент у перебільшеному вигляді продемонстрував енергетичну згубність такого деформування. Таким чином, варто застосувати подрібнення високоградієнтними способами, зберігши високу продуктивність технологічного процесу. Час перебування частинки в дисипативних контактах при подрібненні має наближатись до тривалості акту її руйнування.

Узагальнену математичну модель процесу подрібнення можна подати системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} = f_I(x, S, t); \frac{dS}{dt} = f_S(x, I, t); \frac{dx}{dt} = f_x(t); \\ \frac{dA}{dt} = f(A, M, S, t, x, T); \frac{dM}{dt} = f(T, x, \frac{dx}{dt}, S); \frac{dT}{dt} = f(x, t, A, \theta), \end{cases} \quad (37)$$

де S - площа вільної поверхні матеріалу; I - інтенсивність механічної дії на матеріал; A - робота подрібнення; T - температура; M - параметр механічних властивостей матеріалу; θ - тепловий потік; x - узагальнена координата положення.

Зрозуміло, що така система може розв'язуватись за певних початкових і граничних умов, які визначають стан матеріалу до руйнування, граничні умови його міцності, температурну стійкість м'яса та ін.

Доцільно представляти матеріал у вигляді суцільного середовища із відповідно підібраними фізичними і реологічними властивостями.

Розглянемо випадок представлення м'ясного фаршу моделлю суцільного сипкого середовища. Вважатимемо, що сипке тіло складається з однорідних частин, розміри яких малі порівняно з областю, що зайнята середовищем. Між частинами тіла є внутрішнє тертя і деяке зчеплення, що характеризується критичним напруженням зчеплення k . Модель такого рухомого середовища можна подати і у вигляді рідини, яка має внутрішнє тертя і зчеплення. Приймаємо, що в кожній рухомій точці середовища виконується умова критичної рівноваги:

$$\max(\tau_n - \sigma_n \operatorname{tg} \varphi) = k, \quad (38)$$

де τ_n - дотичне напруження, що розглядається на майданчику з нормаллю \bar{n} ; σ_n - відповідне нормальне напруження; φ - кут внутрішнього тертя; k - критичне напруження зчеплення.

Для плоскої задачі маємо п'ять невідомих функцій - компонентів тензора напружень і переміщень:

$$\sigma_{xx}(x, y, t), \sigma_{yy}(x, y, t), \sigma_{xy}(x, y, t), u(x, y, t), v(x, y, t). \quad (39)$$

Тоді у змінних Ейлера рівняння руху для прийнятої рідини має вигляд:

$$\begin{cases} X - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} \right) = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}; \\ Y - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \right) = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y}, \end{cases} \quad (40)$$

де X, Y – проекції діючої об'ємної сили; ρ - насипна густина сипкого середовища; u, v – складові швидкостей переміщень; $\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{yy}$ - складові тензора напружень.

За третє рівняння можна прийняти рівняння критичної рівноваги:

$$(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2 + 4\sigma_{xy}^2 = \sin^2 \varphi (\sigma_{xx} - \sigma_{yy} + 2k \operatorname{ctg} \varphi)^2. \quad (41)$$

За четверте рівняння, яке описує стан моделі матеріалу, приймаємо рівняння суцільності середовища:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (42)$$

П'яте рівняння випливає з умови однакового напрямку максимальних швидкостей деформацій зсуву і напрямку швидкостей ковзання:

$$\frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \pm \frac{\partial u}{\partial x} \operatorname{tg} \varphi}{\frac{\partial u}{\partial x} \mp \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \operatorname{tg} \varphi}. \quad (43)$$

Вибір знаку в рівнянні (43) визначається активним номером сімейства ліній ковзання.

Замкнуту систему отриманих рівнянь треба доповнити граничними умовами, які повністю визначаються конкретною конструкцією подрібнювача.

Розв'язок задачі про напружений стан сукупності матеріалу в робочому об'ємі подрібнювача для вибраної моделі середовища можна отримати чисельним методом розрахунку.

Розроблені моделі руйнування біополімерів м'яса при подрібненні. Описаний процес утворення нових поверхонь за крихким, високоеластичним і пластичним механізмами руйнування, виходячи з термодинамічного підходу до міцності. Наприклад, за крихким механізмом питомий приріст вільної поверхні:

$$dS_p^{num} = \frac{dA_{np}^{num}}{\alpha_k^s}. \quad (44)$$

де dS_p^{num} - питомий приріст вільної поверхні руйнування; dA_{np}^{num} - приріст питомої роботи пружної деформації; α_k^s - коефіцієнт, що характеризує питому енергію утворення площі вільної поверхні при крихкому руйнуванні.

Розв'язок рівняння (44) можливий за наступних початкових умов:

$$\left. \begin{aligned} A_{np}^{num} &= [w_k] \\ S_k &= S_{k0} \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

де $[w_k]$ - критична величина питомої енергії пружної деформації; S_{k0} - площа руйнування в об'ємі V_{def} матеріалу до деформування (за відсутності руйнування і дефектів структури $S_{k0}=0$).

Величина $[w_k]$ визначається експериментально при випробуваннях на зріз або розтягування зразків матеріалу в умовах крихкого руйнування.

Розглянемо процес руйнування матеріалу який поєднує пружні, високоеластичні і пластичні властивості. Приріст питомої енергії руйнування за змінних умов реалізації процесу:

$$dA_{руйн}^{num} = (\alpha_S^k k_k + \alpha_S^{ел} k_{ел} + \alpha_S^{nl} k_{nl}) dS^{num}. \quad (46)$$

Якщо умови змінні в процесі руйнування то рівняння (46) можна записати так:

$$dA_{руйн}^{num} = (\alpha_S^k dk_k + \alpha_S^{ел} dk_{ел} + \alpha_S^{nl} dk_{nl}) dS^{num}. \quad (47)$$

де dS^{num} - загальне прирощення питомої площі вільної поверхні; k_k , $k_{ел}$, k_{nl} - коефіцієнти дольової участі, відповідно, крихкого, високоеластичного і пластичного руйнування в утворенні нової поверхні.

Загальний підхід до проектування процесів подрібнення м'яса і визначення найбільш ефективного обладнання можна подати у вигляді наступних кроків:

- Задати один або декілька критеріїв якості процесу подрібнення.
- Визначитись з видом подрібнювача за розробленою класифікацією і записати у загальному вигляді рівняння кінетики прирощення поверхні руйнування.
- У відповідності з структурою матеріального потоку для конкретного подрібнювача вибрати підхід до розв'язання задач з визначення характеру взаємодії матеріалу і робочих органів машини. Для моделювання машин 1, 2, 3 типу можна розглядати подрібнюваний матеріал як суцільне середовище зі зміною властивостей під дією механічних сил і температури. Для моделювання машин 4, 5, 6 типів варто застосовувати підхід, що враховує стохастичний характер взаємодії робочих органів і окремих елементів матеріалу на основі складання рівняння балансу матеріальних потоків. Моделюючи процеси подрібнення у машинах 7, 8, 9 типів доцільно розглядати перероблюваний матеріал як сипке середовище зі змінною дисперсністю в полі дії механічних сил і температур.
- Визначити показники фізико-механічних і реологічних властивостей подрібнюваної м'ясної сировини.
- Скласти у явному вигляді та розв'язати систему рівнянь (37).
- Проаналізувати аналітичні залежності, що описують процес подрібнення і їх вплив на цільові функції критеріїв якості процесу.
- Знайти найбільш раціональні конструктивні і технологічні параметри процесу подрібнення біополімерів м'яса.

Узагальнену математичну модель процесу механічного подрібнення м'ясної сировини (37) можна застосовувати для аналітичного опису подрібнювального обладнання, яке застосовується у м'ясопереробці. Корисні також математичні моделі процесів руйнування крихких, пластичних і високоеластичних біополімерних матеріалів, які загалом характеризують увесь спектр м'ясної сировини і є добрим підґрунтям для аналізу технологічних процесів і розробки раціональних конструктивних схем обладнання.

Найбільш раціональними за енергетичною ефективністю є подрібнювачі, в яких структура потоку матеріалу відповідає 1, 2 і 3 типам. Обладнання 1 типу раціонально використовувати для розділення на частини великогабаритних або довгомірних кусків м'яса, особливо якщо до кінцевого продукту пред'являється вимога до чітко визначених розмірів часток. Застосування обладнання 2-го типу доцільне якщо потрібно декілька разів застосувати схему 1-го типу і отримати частинки матеріалу дещо менших розмірів.

Машини для подрібнення з дифузійною схемою матеріального потоку 4, 5, 6 типів, хоча і є менш енергетично вигідними, але при їх застосуванні особливі вимоги до розмірів подрібнюваних шматків майже відсутні.

Обладнанню 7, 8 і 9 типів притаманна найменша енергетична ефективність. Це зумовлено багаторазовими механічними діями на матеріал, які не всі

призводять до руйнування, а інтенсивність механічної дії зменшується по мірі зменшення розмірів частинок матеріалу.

Аналітичний огляд запропонованих структурних схем подрібнення дозволяє намітити напрямки синтезу технологічних машин, що забезпечують енергоощадність процесу і належну якість кінцевого продукту.

- Завдяки виконаним дослідженням вдалося: запропонувати параметр енергетичної ефективності, який дозволяє порівнювати будь-яке подрібнювальне устаткування; застосувати теорію тріщин для математичного опису м'ясоподрібнювальних процесів, обґрунтування переваг застосування високоградієнтних способів диспергування м'ясопродуктів у крихкому стані; подати математичні моделі руйнування крихких, високоеластичних і пластичних біополімерів м'яса, які є підґрунтям для створення енергоощадного подрібнювального обладнання; математично змоделювати процеси вільного і стисненого різання і обґрунтувати ефективність застосування еластичних шнеків для збереження нативних властивостей м'яса при подрібненні; сформулювати вимоги до ефективного м'ясоподрібнювального обладнання, розділити його за структурою потоків сировини на 9 типів, оцінити на цій основі енергетичну ефективність та обґрунтувати алгоритм пошуку раціональних способів і обладнання для подрібнення різновидів м'яса.

- **У п'ятому розділі** досліджений вплив перероблюваної сировини на спрацювання інструментів та інших деталей м'ясоподрібнювальних машин і обґрунтовані основи забезпечення їх довговічності.

Виконаний нами на підприємствах аналіз м'ясорізального інструменту показав, що для його виготовлення не визначені не тільки конкретні марки сталей, захисних покриттів, методи зміцнення, але не вибрані навіть групи придатних сталей.

Багаточисельні і зазвичай взаємопов'язані форми впливу КАС на механічні властивості деталей м'ясоподрібнювальних машин залежать від ряду чинників, з яких можна виділити основні: хімічний склад і рН робочих середовищ; електрохімічні властивості твердих тіл в конкретному середовищі, їх атомну будову, структуру дефектів в об'ємі і на поверхні; умови деформування.

Для визначення впливу м'ясного соку на дислокаційну структуру поверхонь тертя експерименти проводили на монокристалах фториду літію за методикою, викладеною у розділі 2. Кристали деформували на мікротрибометрі індентором Т-1,5 при навантаженні 0,5 Н при терті без змащування, в кислому і лужному м'ясному соку.

При терті індентором без змащування на деформованих кристалах чітко вирізнялись лінії ковзання, утворені крайовими дислокаціями і розташовані у напрямку легкого ковзання.

При терті у воді ширина деформованої зони була більша, а нерівноважна концентрація дислокацій менша майже у 15 разів у порівнянні з тертям без змащування. Крім того, у воді об'єм деформованої зони менший, а найбільша її ширина знаходиться значно ближче до поверхні (на відстані 3-4 мкм від неї), ніж при терті без змащування.

При терті у кислому м'ясному соку з рН 5,5 лінії ковзання на поверхні зразків ледве помітні. Зона деформацій має виразну межу, густина дислокацій у ній надзвичайно висока. Ширина цієї зони така ж, як і при терті без змащування.

Зі збільшенням рН соку з 5,5 до 7,4 ширина деформованої зони подвоюється, а локальна концентрація дислокацій зменшується майже у 18 разів (рис. 14). В лужному середовищі поверхня зразків пластифікована на значній площі, а межа деформованої зони майже не вирізняється.

У всіх досліджених випадках тертя в КАС зсувні процеси локалізуються у більш тонких поверхневих шарах порівняно з тертям без змащування. Плівки вторинних структур і адсорбовані чи бар'єрні шари по-різному впливають на поверхневу міцність матеріалів. В одних випадках (лужний сік) вони знижують поверхневу енергію та зменшують приведенне критичне зсувне напруження, збільшуючи тим самим швидкість деформації твердих тіл. Робочі поверхні тіл пластифіковані на значній площині, а нерівноважна концентрація дислокацій на них невелика.

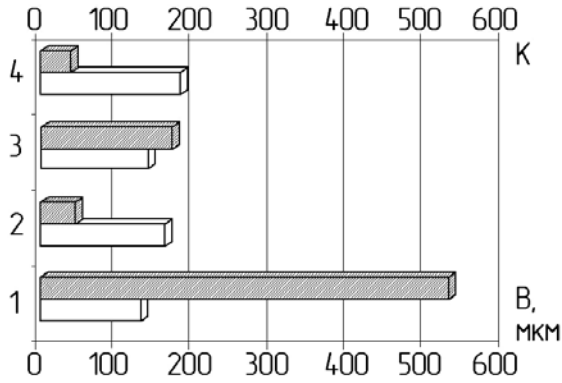


Рис. 14 – Залежність ширини деформованої зони В (не заштриховано) і нерівноважної концентрації дислокацій К (заштриховано) в монокристалах фториду літію при терті без змащування (1), в дистильованій воді (2), кислому рН 5,5 (3) і лужному рН 7,4 (4) м'ясних соках

Дослідження показали, що величина відносної деформації поверхонь збільшується, а глибина її розповсюдження зменшується при підвищенні рН м'ясного соку. Ці величини максимальні при терті без змащування. Аналогічно змінювались і коефіцієнти тертя. Глибина зони суцільних дислокацій і її ширина в деформованих монокристалах відповіла глибині деформованої зони і відносної деформації поверхонь тертя зразків із сталі 65Г. Ці дані свідчать про кореляцію параметрів процесів деформування монокристалів і полікристалічних тіл.

Узагальнюючи викладене, можна констатувати, що характер руйнування поверхонь тертя твердих тіл в КАС різний і залежить від їх властивостей. В кислому середовищі м'ясного соку реалізується крихке руйнування, а у лужному м'ясному соку – в'язке руйнування або диспергування.

З аналізу впливу КАС на субмікроструктуру зразків виходить, що для зменшення крихкого руйнування поверхонь тертя деталей (різальних інструментів) м'ясоподрібнювальних машин в кислих м'ясних соках необхідно використовувати матеріали з мінімальним рівнем напружень у кристалічній ґратці. Це, наприклад, відпущені, нормалізовані або покращені сталі. У лужних середовищах поверхневі шари металів повинні мати підвищену твердість зі значними макро- і мікронапруженнями, що може зменшити їх спрацювання в результаті диспергування. Для цього можна використати хіміко-термічну обробку, захисні покриття.

З урахуванням того, що м'ясна сировина в залежності від терміну автолізу може бути у кислому, лужному і нейтральному стані та може перероблятися на одній і тій же м'ясорізальній машині, то підібрати сталь, яка б мала одночасно високий рівень твердості і пластичності, або забезпечити такі властивості за ра-

Якщо плівка і матеріал основи мають різні параметри атомної ґратки і структуру, то ґратка дислокацій невідповідності є перепоною виходу і розрядженою на поверхні рухомих дислокацій, збільшуючи межу текучості матеріалу, що призводить до окрихчування поверхневого шару і утворення у цьому тріщин, як у кислому м'ясному соку.

Для перевірки адекватності впливу КАС на монокристали і полікристалічні тіла визначали розвиток пластичної деформації при терті ковзання у відпаленій сталі 65Г, з якої часто виготовляють м'ясоподрібнювальні інструменти. Вплив КАС на розвиток пружно-пластичних деформацій сталі 65Г при терті ковзання визначили методом фотопружності.

хунок її термічної обробки досить важко. У цьому випадку перспективними можуть бути захисні зносостійкі евтектичні покриття, іонно-плазмові покриття дискретного типу (острівні, мозаїчні, перфоровані, стільникові) та ін.

При пропусканні через фрикційний контакт постійного струму, негативний полюс джерела якого підключений до зразка, при терті без змащування дещо збільшується сила тертя, зменшується ширина деформованої зони і майже втричі збільшується густина дислокацій. При позитивному заряджуванні монокристалу характер деформування поверхонь тертя змінюється. У першому випадку, негативний заряд зменшує роботу виходу дислокацій завдяки дії на електростатичний бар'єр на міжфазній межі та інтенсифікує хемосорбційні процеси, а у другому випадку, завдяки позитивному зарядженню зразка, його адсорбційна здатність до кисню зростає, що ще більше стабілізує пасивний стан поверхні.

Катодна поляризація зразка у кислому соку (рН 5,5) сприяє порушенню пасивного стану зразків, що проявляється у зменшенні сил тертя, збільшенні ширини деформованої зони і густини в ній дислокацій у порівнянні з тертям без поляризації. Анодна поляризація збільшує дифузю кисню до поверхні зразка та сприяє потовщенню оксидної плівки, що збільшує вірогідність її крихкого руйнування.

Анодне розчинення зразка у лужному м'ясному соку знижує бар'єрну дію на дислокації зміцненого поверхневого шару, але пластифікування поверхні монокристалів за рахунок зменшення енергії активації дислокацій менше, ніж у попередньому випадку. Поляризація потенціалом +1,5В сприяє зменшенню указаних вище параметрів, а подальше облагороджування потенціалу до +6В – їх збільшенню.

Оцінюючи властивості використаних м'ясних соків їх можна розділити за ознакою взаємодії зі зразками таким чином: сік, в якому зразки не розчиняються – слабкокислий; сік, в якому зразки розчиняються - слабколужний. З урахуванням такого поділу можна відмітити, що анодна поляризація (+1,5 В) в нерозчиняючому середовищі знижує пластичні властивості твердих тіл і сприяє збільшенню напружень в приповерхневих шарах, в розчиняючому - полегшує деформування їх поверхонь. Катодна поляризація (-1,5 в) в обох середовищах зменшує поверхневу енергію тіл, прискорює їх взаємодію з середовищами і полегшує деформування поверхні.

Таким чином, експериментальні дослідження підтвердили можливість застосування електрохімічної поляризації для керування деформуванням твердих тіл у КАС.

Отримані дані підтверджують результати, отримані Г.А. Прейсом, М.А. Сологубом, О.І. Некозом при оцінці кінетики зміни дислокаційних структур твердих тіл у модельних середовищах бурякоцукрового виробництва з різними показниками рН.

Переважає більшість деталей м'ясоподрібнювального обладнання працюють у безпосередньому контакті з агресивними розчинами кухонної солі різної концентрації, що призводить до їх інтенсивного корозійно-механічного спрацювання. Перспективними для захисту деталей від КМЗ є безпечні (не канцерогенні) евтектичні покриття на основі заліза, нанесені газотермічним напиленням і наплавленням. Разом з тим, поведінка цих покриттів в умовах зношування в найбільш агресивних соляних електролітах не вивчена, що унеможливорює цілеспрямоване застосування їх для підвищення довговічності м'ясоподрібнювального обладнання.

Досліджували за різних навантажень на фрикційному контакті (0,35 – 1,4 МПа) плазмові евтектичні покриття (розробники В.М. Голубець, М.І. Пашечко, ФМІ НАН України) з різним фазовим складом:

- 1- $\alpha\text{-Fe}+\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}+\text{Fe}_3\text{C}+\text{Fe}_2\text{V}$ 2- $\gamma\text{-(Fe,Ni)}+\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}+\text{Fe}_3\text{C}$
 3- $\gamma\text{-(Fe,Cr)}+\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}+\text{Fe}_3\text{C}$ 4- $\gamma\text{-(Fe,Ni,Mn)}+\alpha\text{-(Fe,Cr)}+\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}+\text{Fe}_3\text{C}$

Стаціонарні електродні потенціали випробуваних покриттів $\varphi_{ст}$ були, відповідно, такими, В: -0,534; -0,313; -0,470; - 0,332.

Експерименти проводили на установці торцевого тертя (розділ 2) за схемою, реалізуючою зачищення поверхні металевого електроду в 3-відсотковому соляному розчині – електроліті з використанням потенціостатичного методу, який застосовувався для дослідження електрохімічних процесів, що відбуваються при терті на поверхні, і для керування їх зношуванням.

Поляризація фрикційного контакту, що полягає у зміщенні потенціалу тертя в катодну (до φ_k) і в анодну (до φ_{a1} , і φ_{a2}) області (рис. 15), істотно впливає на процес КМЗ евтектичних покриттів, що, вірогідно, пов'язано з утворенням, рухом і блокуванням дислокацій на робочих поверхнях покриттів і підтверджує експериментальні дані отримані на монокристалах.

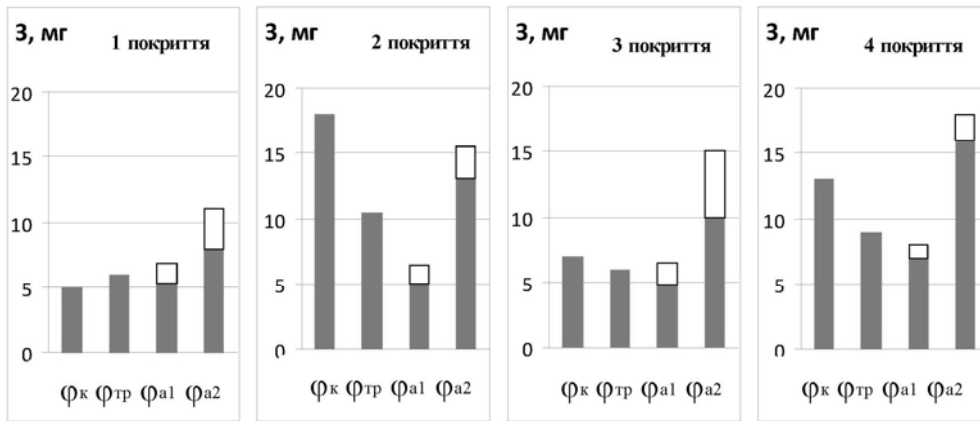


Рис. 15 – Залежність зносу покриттів 1, 2, 3 і 4 від електродного потенціалу при терті з питомим навантаженням 0,7 МПа. Виділені білим кольором ділянки – втрати маси внаслідок електрохімічного розчинення: для покриттів 1, 3, 4 $\varphi_k = -1,0\text{В}$; $\varphi_{a1} = -0,4\text{В}$; $\varphi_{a2} = -0,1\text{В}$; для покриття 2 $\varphi_k = -0,9\text{В}$; $\varphi_{a2} = -0,4\text{В}$; $\varphi_{a2} = 0,0\text{В}$.

Зміна зносостійкості за катодної поляризації пов'язана, вірогідно, з депасивацією поверхонь покриттів в результаті електрохімічного відновлення утворених при терті оксидних та інших плівок. При цьому змінюється будова і дислокаційна структура плівок, зменшуються їх товщина і змащувальна дія. Анодна поляризація зони тертя підсилює процес адсорбції на поверхні тертя іонізованих молекул кисню і аніонів хлору, полегшує іонізацію металу і утворення фазових плівок.

Результати випробувань на зношування в умовах контрольованого потенціалу ще раз підтверджують раніше зроблений висновок про можливість керування процесом КМЗ металів і покриттів шляхом регулювання потенціалу зони тертя поляризацією від зовнішнього джерела струму.

Ефект зниження зносу покриттів 2 і 4 в результаті анодної поляризації фрикційного контакту (потенціал φ_{a1}), що проявляється при порівняно малій густині струму, представляє практичний інтерес як варіант анодного захисту в умовах тертя деталей технологічного обладнання м'ясопереробної галузі.

Механізм корозійно-механічного зношування (КМЗ) деталей обладнання в агресивних середовищах-електролітах м'ясопереробної промисловості може бути описаний на основі аналізу термодинамічної системи, яка зв'язує макрос-

копічні параметри трибологічних об'єктів з електрохімічними характеристиками. Уявляючи спрацювання як густину потоків відокремлених окисених і не окисених частинок під впливом зовнішніх навантажень і КАС, швидкість зношування I , приведена до одиниці поверхні, можна визначити за розробленою математичною моделлю, яку у загальному вигляді можна подати так:

$$\bar{I} = f(K_1, K_2, K_3, P, V, n, F, V_M, \Delta\phi_0) \quad (48)$$

де K_1, K_2, K_3 - постійні, які включають феноменологічні коефіцієнти, коефіцієнт тертя, роботу утворення вільної поверхні при зношуванні, кількість дислокацій в одиниці деформованого матеріалу; P, V - відповідно, характеризують тиск і швидкість ковзання; n - валентність металу; F - постійна Фарадея; V_M - мольний об'єм речовини; $\Delta\phi_0$ - зміна рівноважного електродного потенціалу при спрацюванні.

Зміщуючи потенціал тертя пари з використанням зовнішнього джерела струму в катодну або анодну область, можна управляти процесом її корозійно-механічного спрацювання в деяких межах, не змінюючи умов навантаження вузла тертя. Це зміщення також можна здійснити зміною складу матеріалів, що труться, нанесенням захисних покриттів, зміною режимів тертя та інгібуванням (де це можливо) технологічного середовища, що підтверджено багатьма дослідженнями в інших галузях харчової промисловості.

Встановлено, що у відкритих системах, які постійно одержують із зовнішнього середовища негативну ентропію і речовину, можуть виникати, відповідно з термодинамікою нерівноважних процесів, упорядковані структури. М'ясоподрібнювальний комплект, наприклад вовчка, задовольняє вимогам самоорганізації. Усе це створює умови для реалізації у цьому вузлі ефекту вибіркового переносу (ВП) за рахунок формування на гратках вовчка бронзових (БрАЖ-9-4) антифрикційних вставок плазмовим напиленням.

Запропонований спосіб за рахунок самоорганізації трибосистеми дає можливість підвищити ресурс гратки вовчка МП-160 до переагострення з 7...8 до 15...20 год, а зносостійкість ножів із сталі 65Г у разі роботи з напиленими гратками зростає на 70% порівняно з ножами, що працюють у парі з серійними гратками із сталі У8.

Дослідження показали, що при ВП у робочому шарі деталей немає скупчення дислокацій, які призводять до руйнування поверхні. Сам матеріал плівки знаходиться в стані, подібному розплавленому. Тертя бронзи по сталі в умовах ВП можна уподібнити ковзанню тіла по льоду, при якому низький коефіцієнт тертя замість води забезпечує плівка «розплавленого» металу.

Важливо правильно вибрати сталі для виготовлення інструментів, яким притаманна висока зносостійкість. Тестування на зношування зразків з інструментальних сталей різних марок проводили у модельному м'ясному середовищі за схемою «клин-диск» на машині тертя М-22П.

Перед випробовуванням зразки загострювали (шліфували) абразивними кругами. Використовуючи круги із синтетичного алмазу, непрямолінійність, шорсткість і радіус заокруглення різального леза можна отримати мінімальними, але, зразки, оброблені синтетичним алмазом і електрокорундом, мали на задній грані значні тріщини і припалення. Найменша глибина шару зміненого («зіпсованого») матеріалу була при заточці кругами з ельбору, яка є найбільш доцільною.

З застосуванням електронної мікроскопії доведено, що менша густина і величина карбідів та рівномірний їх розподіл у середньохромистих і швидкоріжучих сталях, а також більш висока їх твердість забезпечують вищу стійкість м'ясорізальних інструментів.

Результати лабораторних випробувань були перевірені у виробничих умовах Київського експериментального м'ясопереробного заводу «Дарницький» на різальних комплектах шнекових м'ясоподрібнювальних машин типу МП-160 (рис. 16).

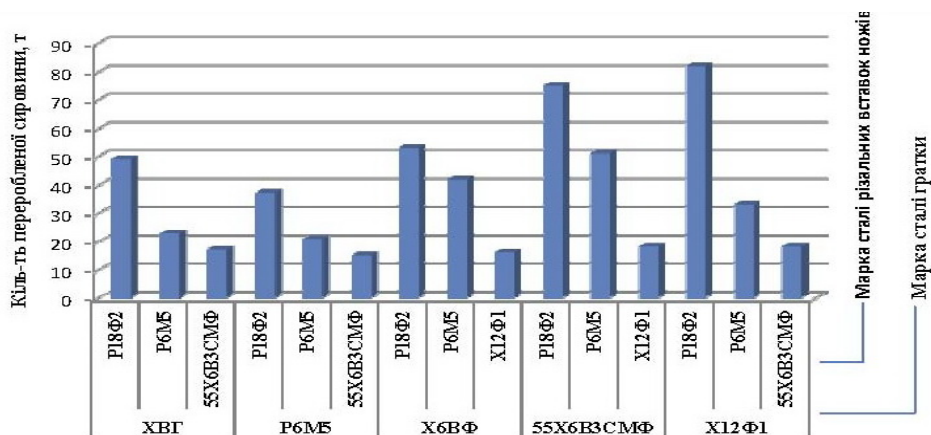


Рис. 16 – Результати випробувань на зношування різальних комплектів шнекових м'ясоподрібнювальних машин (вовчків) при подрібненні дефростованої яловичини першої і другої категорій

Випробовування показали задовільну кореляцію з результатами лабораторного тестування сталей. Очевидно, що найбільшу зносостійкість мають рухомі ножі з швидкоріжучих сталей при їх застосуванні у комплекті з ґратками з сталей 55Х6В3СМФ та Х12Ф1, які можуть подрібнювати від 50 до 80 т яловичини.

• Таким чином, взаємодія деталей подрібнювальних машин і, зокрема, різальних інструментів з м'ясною сировиною є специфічним фізико-хімічними процесом, впливаючим на рівень навантаженості, макро- і субмікроструктури взаємодіючих тіл, викликаючим за рахунок переміщення і взаємодії дислокацій, в залежності від глибини автолізу м'яса, або крихке руйнування або адсорбційне пластифікування і диспергування робочих поверхонь, які з цієї причини одночасно повинні поєднувати властивості міцності, твердості та пластичності за рахунок обґрунтованого вибору матеріалів, технологій виготовлення і зміцнення деталей та їх раціонального поєднання у вузлах для забезпечення необхідного виду трибоконтактної взаємодії, природної самоорганізації і трибоелектрохімічної енергостабілізації трибосистем для підвищення їх ресурсу.

У шостому розділі на підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень, з урахуванням фізико-хіміко-механічних властивостей перероблюваної сировини та аналітичного огляду сучасного подрібнювального обладнання запропоновані захищені патентами ефективні подрібнювальні машини засновані на високоградієнтних способах різання для подрібнення шпиків і м'яса. Зокрема, розроблені шнекові машини: вовчок-кутер (рис. 17), подрібнювач з циліндричним ножом і ґраткою (рис. 18) і насос-подрібнювач м'яса (рис. 19).

У вовчку-кутері (рис. 17) м'ясо із бункера 2, який знаходиться на корпусі 1, живильним еластичним шнеком 3, привареним до пустотілого вала 4, просувається до приймальної ґратки 5, де подрібнюється ножом 6. Після цього воно подається додатковим шнеком 7 у подрібнювальну камеру 8, де додатково подрібнюється ножами 10, що закріплені на внутрішньому привідному валу 9, який обертається в протилежну сторону і має більшу частоту обертання. Подрібнювальні ножі 10 закріплені на ножовій головці в робочій камері 8 для тонкого подрібнення фаршу. Ступінь подрібнення фаршу, який виводиться через патрубок 11, регулюється заслінкою 12. Досягається регульована ступінь подрібнення і обмежується температура нагрівання фаршу. Рухомі серпоподібні ножі

машини обертаються швидше за шнек, відрізаючи більш короткі частинки м'яса, покращуючи якість фаршу. Леза ножів мають оптимальну форму, яка обґрунтована теоретично і серією спеціально виконаних експериментів.

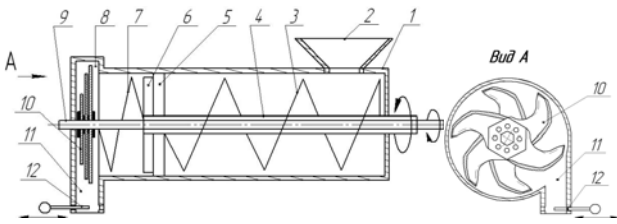


Рис. 17 – Конструктивна схема вовчка-кутера

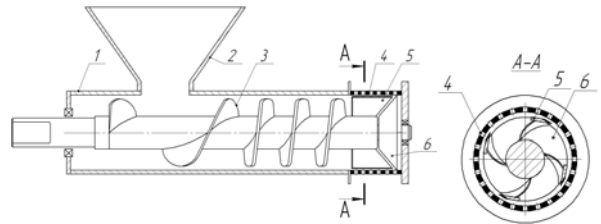


Рис. 18 – Подрібнювач з циліндричним ножом і ґраткою

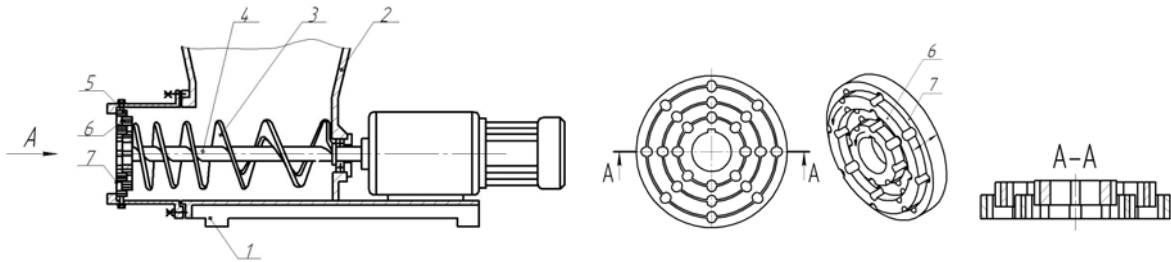


Рис. 19 – Шнековий насос-подрібнювач м'яса

Основним недоліком ножів з крайками лез, виконаних за логарифмічною спіраллю є трудність у виконанні їх заточування, яка усунена завдяки виконанню крайок у вигляді ломаної лінії з i -тою кількістю прямолінійних ділянок, що у першому наближенні повторюють профіль цієї кривої. Причому доцільно, щоб довжина L_i довільної прямолінійної крайки леза визначались з виразу:

$$L_i = L_{i-1} \cdot R_{i-1} / R_i, \quad (49)$$

де R_{i-1} - відстань від осі обертання ножа до середини i -ої крайки, R_i - відстань від цієї ж осі до середини наступної різальної крайки.

Використання формули (49) дозволяє забезпечити рівномірність подрібнення, упорядкувати геометричні розміри леза і, тим самим, зменшити довжину кожної наступної прямолінійної ділянки, що знижує витрати енергії на процес різання волокон м'яса за рахунок збільшення тиску в зоні контакту крайки ножа з сировиною по мірі зростання відстані від осі обертання завдяки зменшенню кута заточування з урахуванням його кінематичної трансформації під час різання.

Подрібнювач з циліндричним ножом і ґраткою (рис. 18) включає корпус 1, бункер 2, подавальний шнек 3, ґратку 4, циліндричний ніж 5, опорний конус 6, що забезпечує розподіл сировини по поверхні ґратки, підвищує рівномірність подрібнення, зниження температури фаршу за рахунок негайного його виведення із зони різання.

До недоліків шнекових подрібнювачів м'яса треба віднести зниження коефіцієнта ефективності використання ґратки, яка перекривається тілом обертового ножа. Ця вада виключена у запропонованому шнековому насосі – подрібнювачі (рис. 19), що включає корпус 1, бункер 2, подавальний шнек 3, приводний вал 4, додаткові концентричні кільця 5, подрібнювальний вузол 6, подрібнювальне кільце 7. М'ясо шнеком витискається у концентричні щілини між основними і додатковими подрібнювальними кільцями, захоплюється гострими крайками додаткових подрібнювальних кілець і, під дією тиску, надходить у зазори різального вузла, де остаточно подрібнюється до певних розмірів і вивантажується.

У запропонованих нами різальних пристроях шнекових машин процес подрібнення м'яса відбувається у двохвимірному просторі (площині), що визначає форму та дисперсність фаршу після проходження через різальну пару. Конструктивне оформлення різальних пар може бути різним, а тому у загальному випадку процес подрібнення м'яса двома лезами може бути охарактеризований такими параметрами різального пристрою: радіусом заокруглення (затуплення) різальних крайок ножів r ; зазором між крайками Δ , що вимірюється у напрямі нормалі до швидкості руху ножів; висотою h і шириною b (або діаметром) шматка м'яса і його міцністю; швидкістю відносного зближення різальних ножів v (рис. 20).

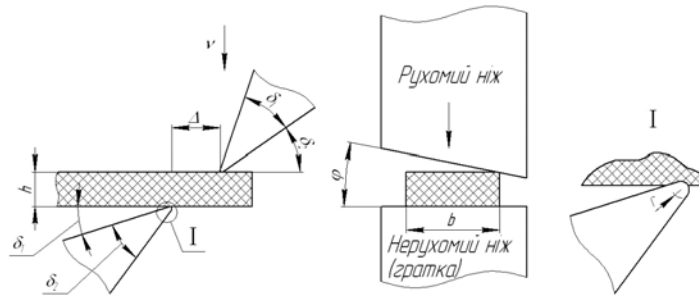


Рис. 20. Параметри, що визначають силу різання: δ_1 – кути заточування лез, δ_2 – передні кути лез, φ – кут між крайками лез, Δ – зазор між крайками, r – радіуси загострення крайок, h , b – відповідно товщина і ширина шматка м'яса

Критеріальне рівняння енергії, що витрачається на утворення нової поверхні одиничного акту розрізання м'яса має наступний вигляд:

$$W_{\text{III}} = w_{\text{num}}(T, v) f(b, h, \delta_1, \delta_2, \varphi, \Delta, r, v), \quad (50)$$

де $w_{\text{num}}(T, v)$ – питома енергія утворення вільної поверхні матеріалу, що залежить від його температури T і швидкості деформування v .

Якщо буде відома функція подібності $f(b, h, \delta_1, \delta_2, \varphi, \Delta, r, v)$, то робота різання буде пропорційна питомій роботі і може бути обчислена для будь-якого конкретного процесу при відомих геометричних параметрах устаткування.

Аналіз рівняння дозволяє зробити висновок: оптимальні геометричні характеристики устаткування не залежать від виду подрібнюваного м'яса і його стану, а відповідають мінімальному значенню $f(b, h, \delta_1, \delta_2, \varphi, \Delta, r, v)$ при заданих технологічних і конструктивних обмеженнях. У такому разі оптимізація температурно-швидкісного режиму руйнування зводиться до визначення мінімуму функції для конкретного виду м'яса. Зроблений аналіз процесу різання м'яса ножами дозволяє стверджувати, що

$$f(b, h, \delta_1, \delta_2, \varphi, \Delta, r, v) = \frac{V_{\text{деф}}(t)}{V_{\text{деф}}^{\text{іо}}(t)}, \quad (51)$$

де $V_{\text{деф}}(t)$ – зміна об'єму деформаційної зони під дією лез при різанні в часі;

$V_{\text{деф}}^{\text{іо}}(t)$ – зміна об'єму деформаційної зони під дією лез за найкращих умов різання м'яса ($\Delta \rightarrow 0$, $r \rightarrow 0$).

Розглядаючи геометричні параметри різання м'яса лезами, сили і деформації, виникаючі в процесі, та враховуючи критеріальне рівняння (50), визначили питомі витрати енергії на утворення нової поверхні:

$$W_{\text{III}} = W_p^{\text{num}}(T, v) = \frac{(V_{\text{деф}}(t))^2}{V_{\text{деф}}^{\text{експ}}(t_p) b h}, \quad (52)$$

Дослідження міцності м'яса в умовах різання були виконані для встановлення закономірностей впливу технологічних чинників на рівень руйнівних на-

пружень і деформацій у м'ясній сировині. Випробуванню підлягали зразки м'язової тканини яловичини за температур $-20, +4, +20^{\circ}\text{C}$, що мали квазікрихкі, високоеластичні та пластичні властивості.

Дослідження для визначення зусиль різання та енергій руйнування проводили з використанням спеціального різального пристрою, який встановлювали на розривній машині IP5057, з'єданого з аналого-цифровим перетворювачем і ЕОМ та копра.

Обробка експериментальних даних дозволила виявити залежності для визначення питомих енергій руйнування від кута заточки ножів для м'язової тканини яловичини у станах:

$$\text{квазікрихкому: } W_p^{num} = 0,029 \exp(0,094\alpha) + 1,41 \quad (53)$$

$$\text{високоеластичному: } W_p^{num} = 0,056 \exp(0,066\alpha) + 0,85 \quad (54)$$

$$\text{пластичному: } W_p^{num} = 0,196 \exp(0,06\alpha) + 2,32 \quad (55)$$

На основі проведеного аналізу залежності міцності м'яса від виду напруженого стану можна зробили припущення, що мінімальна $W_{p\ min}^{num}$ буде змінюватись у взаємозв'язку з швидкістю різання, температурою і може бути розрахована тільки за наявності залежностей такого виду:

$$W_{p\ min}^{num} = w_{p0}^{num} f\left(T, \frac{d\varepsilon}{dt}\right) \text{ кДж/м}^3, \quad (56)$$

де w_{p0}^{num} - постійна, що характеризує максимально можливу міцність м'яса при $T=0\text{K}$ і $(d\varepsilon/dt) \rightarrow v_0$ (v_0 - швидкість звуку у м'ясі при $T=0\text{K}$).

Визначити у явному вигляді залежність (56) можна тільки в результаті випробувань м'яса на міцність при змінних температурах і швидкостях деформування.

Як видно з діаграм деформування випробуваних зразків м'яса при різанні (рис. 21), залежність напруження від деформації до руйнування сировини у квазікрихкому і високоеластичному стані можна вважати лінійною і значення питомої енергії, що витрачається на деформування цих матеріалів до початку процесу руйнування при різанні можна обчислити за формулою:

$$W_p^{num}(T, v) = \frac{1}{2} \sigma_p(T, v) \cdot \varepsilon_p(T, v) f(h, \delta_1, \delta_2, \varphi, \Delta, r), \quad (57)$$

де $f(h, \delta_1, \delta_2, \varphi, \Delta, r)$ - параметрична функція подібності.

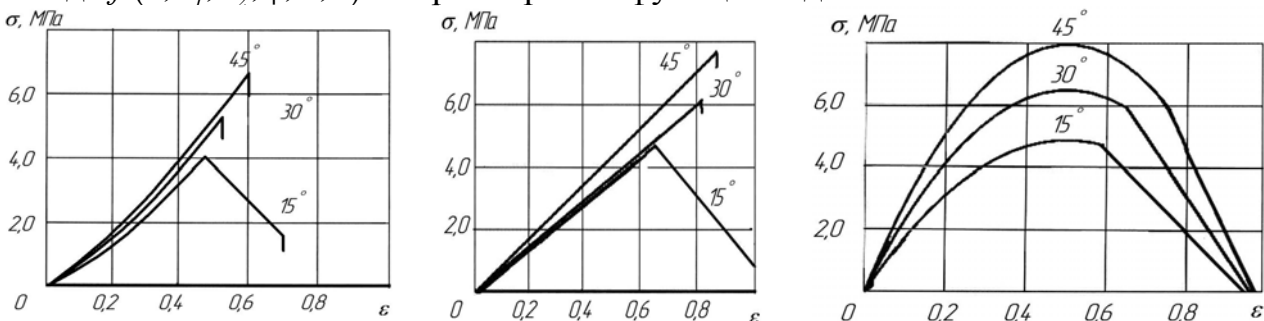


Рис. 21. Діаграми деформування м'язової тканини яловичини ножами з кутами заточування $15, 30, 45^{\circ}$ за різних температур у станах: а – квазікрихкому (-20°C), б – високоеластичному ($+4^{\circ}\text{C}$), в – пластичному ($+20^{\circ}\text{C}$)

Для м'яса у пластичному стані за різних кутів заточування ножів температури 293K і швидкості руйнування (різання) 2 мм/с справедлива залежність:

$$\sigma_p^{nl}(\varepsilon) = \varepsilon \cdot [\sigma_{nl}] \cdot \left((2f + tg(\delta)) \cdot (1 - \varepsilon) + \frac{2r}{h(1 - \varepsilon)} \right). \quad (58)$$

Процес руйнування м'яса у пластичному стані визначається залежністю межі пластичного руйнування $[\sigma]_{nl}$ від температури T і швидкості деформування v та коефіцієнта тертя $f_{мер}$ від температури і нормального тиску на поверхню ковзання p .

Тоді питома енергія деформування м'яса у пластичному стані до руйнування може бути обчислена за виразом:

$$W_{деф}^{num}(T, v) = [\sigma]_{nl}(T, v) \int_0^{\varepsilon_p} \varepsilon \cdot \left((2f_{мер}(T, p) + tg(\delta)) \cdot \left(\frac{\varepsilon_p^2}{2} - \frac{\varepsilon_p^3}{3} \right) - \frac{2r}{h} \cdot (\varepsilon_p + \ln(1 - \varepsilon_p)) \right) d\varepsilon \quad (59)$$

А питома енергія руйнування після досягнення граничного стану ε_p

$$W_p^{nl}(T, v) = 0,5[\sigma]_{nl}(T, v) \cdot (2f_{мер}(T, p) + tg(\delta)) \cdot (1 - 2\varepsilon_p + \varepsilon_p^2). \quad (60)$$

За умови ідеального різання множник при $[\sigma]_{nl}(T, v)$ у рівнянні (59) дорівнює одиниці.

На основі моделей руйнування м'яса у різальному вузлі і транспортування в напірній зоні розроблено програми для розрахунку раціональних технологічних параметрів процесу і конструктивних характеристик шнекових машин на ПЕОМ.

Для удосконалення процесу кутерування фаршів синтезовані кутерні ножі з крайками на основі логарифмічної та архімедової спіралей, евольвенти та прямої. Вплив геометричної форми ножа на якість подрібнення сировини і на енергоспоживання досліджено на кутері ЛК. Найкращими у співвідношенні якості фаршу та енергоспоживання є ножі, у яких різальна крайка одночасно окреслена спіраллю Архімеда та логарифмічною спіраллю. Не менш важливо забезпечити високий опір спрацюванню відповідальних деталей подрібнювальних машин, зокрема інструментів.

Допускаючи, що КМЗ базових деталей м'ясоподрібнювального обладнання відбувається за лінійним, а зміна випадкових величин за нормальним законом, середнє значення швидкості КМЗ - K_{cp} , середньоквадратичне відхилення цієї швидкості - σ_k , а при зміні вихідного параметру $X = X_{max}$ настає граничний стан, що визначає термін служби деталей $t = T$, з урахуванням інтенсивності їх відмов λ , початкового стану a_0 і його середньоквадратичного відхилення σ_a та застосувавши функцію Лапласа Φ , запропонували математичні моделі, що дозволяють отримати для заданої квантилі U_α визначальні показники надійності машин по базових деталях і прогнозувати їх зміни в часі:

$$\text{термін служби} \quad T = f(K_{cp}, X_{max}, \sigma_k, \sigma_a, U_\alpha) \quad (61)$$

$$\text{імовірність безвідмовної роботи} \quad P(t) = f[\lambda, t, \Phi, (X_{max}, a_0, K_{cp}, T, \sigma_a, \sigma_k)] \quad (62)$$

Результати досліджень передані проектним, машинобудівним і виробничим підприємствам.

• Узагальнюючи теоретичні і експериментальні результати, отримані у розділі, варто відмітити: розробку нових м'ясоподрібнювальних машин; визначення питомих енергій деформування і руйнування м'яса у різних станах при різанні; удосконалення різальних інструментів вовчків і кутерів; розробку ме-

тодики визначення і прогнозування показників надійності обладнання; впровадження отриманих результатів у виробництво.

Висновки

На підґрунті аналізу і систематизації м'ясоподрібнювальних процесів, принципів дії та конструкцій вітчизнаних і зарубіжних машин та оцінки їх взаємодії з технологічними середовищами галузі, в роботі отримані нові наукові результати, які розширюють уявлення про закономірності формування м'ясних дисперсних систем з необхідними фізико-хімічними і реологічними властивостями, що дозволило розробити теоретичні основи, експериментально обґрунтувати і практично реалізувати новий концептуальний підхід у вирішенні проблеми підвищення якості продукції, ефективності використання і зносостійкості обладнання, покладений в основу його класифікації, математичного моделювання процесів, конструктивних і технологічних рішень, вибору кінематичних і динамічних параметрів різальних вузлів, сталей і зносостійких покриттів для їх зміцнення, що забезпечує енерго- і матеріалоощадність при подрібненні, високу якість і вихід продуктів та є науково-технічною основою для створення нового технологічного обладнання з підвищеним ресурсом.

Виконані дослідження дають можливість зробити наступні висновки і рекомендації:

1. Оцінка поведінки м'яса в процесах його подрібнення може частково ґрунтуватися на математичному апараті і методах фізико-хімічної механіки хімічних полімерів. Діаграми його деформації та інші механічні залежності математично доцільно описувати з застосуванням механічних чи електричних реологічних моделей.

2. Оптимальний термін подрібнення фаршу на різних м'ясоподрібнювальних машинах залежить від критерію хімічного складу м'яса та узагальнених кінематичних характеристик машин. Ступінь подрібнення фаршу прямо впливає на його якість, тривалість сушки сирокочених і втрати маси при термообробленні варених ковбас, а керовані режими фаршеприготування дозволяють отримувати продукти із заданими СМХ.

3. Розроблений метод контролю СМХ фаршу і готових виробів з використанням номограм та спосіб і його апаратурне забезпечення для експрес-оцінки СМХ фаршів в процесі подрібнення.

4. Виявлений взаємозв'язок міцностних (граничне напруження зрізу) енергетичних (робота зрізу і зминання), компресійних (відносна об'ємна деформація, модуль пружності, період релаксації) і зсувних (граничне напруження зсуву, пластична і ефективна в'язкість) характеристик фаршу і готових виробів та ступеня подрібнення сировини.

5. Запропонований математичний апарат, який дозволяє прогнозувати якість (консистенцію) готової продукції за СМХ фаршу, що створює передумови для розробки нового асортименту м'ясних виробів з наперед заданими властивостями та дозволяє забезпечити оптимальний термін подрібнення на машинах з різною різальною здатністю.

6. Проведений аналіз можливих потоків подрібнюваної сировини та розроблена математична модель їх гідродинамічної структури, особливості якої визначають ефективність роботи подрібнювачів. За структурою потоків всі подрібнювачі розділені на 9 типів і проведена оцінка їх енергетичної ефективності

з застосуванням запропонованого критерію, що може бути використаний для порівняння будь-яких видів устаткування.

7. Розроблені математичні моделі вільного і стиснутого подрібнення м'яса дозволили знизити енергозатратність процесів, обмежити надмірну силову дію робочих органів на сировину за рахунок надання їм раціональних геометричних параметрів та еластичних властивостей, що забезпечило збереження нативних властивостей м'ясопродуктів у процесі фаршеприготування.

8. Розроблені узагальнена математична модель процесу подрібнення м'яса та моделі руйнування крихких, високоеластичних і пластичних м'ясопродуктів, що є підґрунтям для вибору і проектування технологічного обладнання.

9. Експериментально досліджений вплив технологічних середовищ галузі на дислокаційну структуру і спрацювання деталей м'ясоподрібнювальних машин. У кислих м'ясних середовищах можуть добре працювати деталі подрібнювальні інструменти з достатнім рівнем пластичності, а у лужних – з достатнім рівнем твердості. Перспективні для зміцнення деталей та інструментів електронні покриття, які поєднують названі властивості та зносостійкість при переробці сировини з різним терміном автолізу.

10. Регулювати опір спрацюванню деталей машин для подрібнення м'ясної сировини з різною глибиною автолізу можна за рахунок їх електричного зарядження, або підбором захисних покриттів, що мають необхідний рівень механічних характеристик та відповідні електрохімічні характеристики, що підтверджує розроблена математична модель корозійно-механічного зношування. Для підвищення зносостійкості вузлів тертя доцільне також застосування ефекту вибіркового переносу.

11. Найбільш перспективними для виготовлення інструментів подрібнювальних машин є швидкоріжучі, а також середньо- і високохромисті сталі, а загострювати леза доцільно кругами з кубічного нітриду бору.

12. Запропоновані нові м'ясоподрібнювальні машини, обґрунтовані геометричні параметри різальних інструментів, способи їх зміцнення та визначені області застосування в залежності від фізико-механічних характеристик сировини. Розроблені математичні моделі для визначення питомих енергій деформування і руйнування м'яса у різних станах, які описують процес з урахуванням температури, швидкості різання і геометричних параметрів інструментів та запропоновані комп'ютерні програми для автоматизованого проектування обладнання.

13. Розроблена методика визначення і прогнозування показників надійності м'ясоподрібнювальних машин.

14. Результати роботи впроваджені з економічним ефектом близько 6 млн. грн у науково-дослідних, проектних і виробничих організаціях, включені у підручник і навчальні посібники та застосовуються у навчальному процесі ВНЗ України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ Монографії

1. Интенсификация процессов и защита оборудования пищевых производств: [Монография] / Г.П. Тищенко, Н.Д. Хоменко, В.Ю. Сухенко, П.П. Ермаков, Ю.Г. Сухенко; под ред. профессора Ю.Г. Сухенко. – К.: ДІА, 2006. – 224 с. *(Особистий внесок здобувача: написана глава 4)*

2. Сухенко В.Ю. Моделювання процесів подрібнення м'яса і синтез технологічних машин: [Монографія] / В.Ю. Сухенко. - Київ: ТОВ ЦП "Компринт", 2013. - 227с.

3. Современный агропромышленный комплекс и сельскохозяйственные науки : [Монография] / [авт.кол. : В.В. Мануилов, В.Ю. Сухенко, Л.Т. Печеная]. – Одесса: КУПРИЕНКО С.В., 2014 – 124 с. *(Особистий внесок здобувача: у співавторстві написана глава 2)*

Підручник і навчальні посібники з грифом Міністерства освіти і науки України

4. Сухенко Ю.Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв [Підручник] / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко. - К.: НУХТ, 2010. – 547 с. *(Особистий внесок здобувача: написані розділи 7, 8, 10, 11)*

5. Основи наукових досліджень і патентознавство: [Навч. посібник] / А.А. Лудченко, Ю.Г. Сухенко, Я.А. Лудченко, В.Ю. Сухенко, 4-те вид., перероблене і доповнене. – К.: В-во ВМУРоЛ «Україна», 2011. – 239 с. *(Особистий внесок здобувача: написані розділи 3, 4)*

6. Сухенко Ю.Г. Технологічне обладнання плодоовочевих переробних виробництв: [Навч. посібник] / Ю.Г. Сухенко, В.В. Сарана, В.Ю. Сухенко. За ред. проф. Ю.Г. Сухенка. – К.: НУБіП України, 2012. – 421 с. *(Особистий внесок здобувача: написані розділи 2, 3, 4, 6)*

7. Сухенко Ю.Г., Сарана В.В., Сухенко В.Ю. Технологічне обладнання та лінії молокопереробних підприємств: [Навч. посібник] / Ю.Г. Сухенко, В.В. Сарана, В.Ю. Сухенко. За ред. проф. Ю.Г. Сухенка. – К.: НУБіП України, 2013. – 658 с. *(Особистий внесок здобувача: написані розділи 6, 7, 8, 13(ч.1), 4, 5(с.ІІ))*.

Статті у наукових фахових виданнях

8. Сухенко Ю.Г., Сухенко В.Ю. Досвід організації діляниць зміцнювальних та відновлювальних технологій в харчовій і переробних галузях АПК: [Текст] // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво. – К.: УкрІНТЕІ. - 1999. - № 5-6. – С.36-39. *(Особистий внесок здобувача: аналіз проблеми, дослідження світового досвіду організації виробництва та окреслення проблем, підготовка матеріалів до друку)*

9. Сухенко В.Ю. Застосування плазмового напилення для підвищення довговічності м'ясорізальних вовчків: [Текст] / В.Ю. Сухенко, В.М. Таран, Ю.Г. Сухенко // Харчова промисловість: Міжвідомчий тематичний наук. зб. - К.: УДУХТ, 2000. - Вип. 45. - С.229-234. *(Особистий внесок здобувача: обґрунтування доцільності використання плазмового напилення, дослідження адгезії покриттів, підготовка матеріалів до друку)*

10. Азотування в електролітах - перспективний спосіб підвищення довговічності деталей [Текст] / Ю. Г. Сухенко, О. Г. Дзюб, В. Ю. Сухенко, В. А. Косенко // Наукові праці Українського державного університету харчових технологій. — 2001. — №10. Ч.ІІІ : Пріоритетні напрями впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання і нових видів продуктів оздоровчого та спеціального призначення". — С. 66-67. *(Особистий внесок здобувача: формування та підтвердження результатів досліджень, підготовка матеріалів до друку)*

11. Сухенко Ю.Г. Стійкість газотермічних покриттів при кавітаційно-ерозійному зношуванні: [Текст] / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, О.І. Некоз, В.Ю. Сухенко; Прикарпатський національний університет В.Стефаника // Журнал «Фізика і хімія твердого тіла». - РВЦ ПНУ, 2002. - Т.3, № 3. - С.537-539. *(Особистий внесок здобувача: дослідження перспективних покриттів при кавітаційно-ерозійному зношуванні, дослідження світового досвіду, підготовка матеріалів до друку)*

12. Сухенко В.Ю. Прогнозування надійності і довговічності обладнання харчових виробництв за інтенсивністю корозії [Текст] / В. Ю. Сухенко, В. М. Таран, Ю. Г. Сухенко // Цукор України. — 2006. — № 1-2 (45). — С. 44-46. *(Особистий внесок здобувача: обґрунтування можливості прогнозування надійності технологічного обладнання, опрацювання результатів, підготовка матеріалів до друку).*

13. Сухенко Ю.Г. Интенсификация тепломассообменных процессов в пищевых отраслях [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, В.М. Бородина, С.В. Хоменко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: Вид-во ХНТУСГ, Вип. 88. – 2009. – С.23-25. *(Особистий внесок здобувача: комплексне дослідження впливу теплової обробки у харчовій промисловості, опрацювання результатів, підготовка матеріалів до друку).*

14. Сухенко В.Ю. Механіка біополімерів м'яса: [Текст] / В.Ю. Сухенко // Науковий вісник НУБіП України. - К.: Вид-во НУБіП України, 2012. - Вип. 170 ч.1. - С. 290-302.

15. Сухенко Ю.Г. Забезпечення довговічності м'ясорізальних вовчків переробних підприємств [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, В.В. Доценко // Науковий вісник НУБіП України – К.: НУБіП України. 2010. – Вип. 144, ч.2. – С.150-160. *(Особистий внесок здобувача: оцінка довговічності роботи м'ясоподрібнювального обладнання, матеріалів, підготовка експериментів, аналіз і опрацювання результатів).*

16. Сухенко Ю.Г. Трансформація властивостей фаршу в процесі виготовлення варених ковбас: [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, Т.М. Жеведь // Науковий вісник НУБіП України. - Вид-во НУБіП України, 2010. - Вип. 144, ч.3. - С.311-315. *(Особистий внесок здобувача: досліджена кислотність фаршу на різних стадіях технологічного процесу виготовлення варених ковбас, проведений аналіз впливу кислотності на якість готового продукту).*

17. Сухенко Ю.Г. Забезпечення зносостійкості молотків подрібнювачів зерна [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во нац. авіац. Ун-ту «НАУ-друк», 2010. – Вип. 52. – с.

228 - 233. *(Особистий внесок здобувача: проведені дослідження залежності зносостійкості сплаву від температур оплавлення при використанні самофлюсованих покриттів сплаву ПГ-10Н-01, підготовка до друку).*

18. Сухенко Ю.Г. Електрофоретичні покриття для підвищення зносостійкості шарнірних вузлів. [Текст] /Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во нац. авіац. Ун-ту «НАУ-друк», 2010. – Вип. 52. – с. 234 - 241. *(Особистий внесок здобувача: проаналізовані умови роботи шарнірних з'єднань та як результат запропоновано застосувати електрофоретичні фторопластові покриття для підвищення їх надійності).*

19. Сухенко Ю.Г. Ефективність газотермічних покриттів на деталях обладнання переробних і харчових виробництв [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Науковий вісник НУБіП України, 2010. Вип. 144 ч.1 серія «Техніка і енергетика АПК» с. 284-290. *(Особистий внесок здобувача: проведений аналіз та обробка результатів при застосуванні плазмових покриттів на деталях технологічного обладнання, підготовлено матеріали до друку).*

20. Сухенко Ю.Г. Підвищення довговічності робочих органів дробарок для зерна [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, С.В. Хоменко // Науковий вісник НУБіП України, 2010. Вип. 144 ч.5 серія «Техніка і енергетика АПК» с. 260-267. *(Особистий внесок здобувача: проаналізований стан проблеми, поставлена проблема, проведені дослідження та отримані висновки для підвищення довговічності робочих органів дробарок).*

21. Сухенко Ю.Г. Інтенсифікація перемішування технологічних середовищ переробних і харчових виробництв [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, П.П. Єрмаков //Науковий вісник НУБіП України, 2010. Вип. 144 ч.3 серія «Техніка і енергетика АПК» с. 77-88. *(Особистий внесок здобувача: проведений всебічний комплексний підхід до проблеми, на основі результатів досліджень запропоновані методи підвищення інтенсивності перемішування харчових середовищ).*

22. Сухенко Ю.Г. Визначення показників надійності обладнання переробних і харчових виробництв [Текст]/ Ю.Г. Сухенко, А.М. Матіяшук, В.Ю. Сухенко //Науковий вісник НУБіП України, 2010. Вип. 144 ч.4 серія «Техніка і енергетика АПК» с. 320-326. *(Особистий внесок здобувача: математичне обґрунтування методів визначення показників надійності, аналіз та узагальнення результатів).*

23. Сухенко В.Ю. Обґрунтування основ забезпечення зносостійкості м'ясорізальних інструментів: [Текст] / В.Ю. Сухенко; НАУ // Проблеми тертя та зношування: наук. - техн. зб. - К.: НАУ, 2012. – Вип. 57 - С.76-92.

24. Сухенко В.Ю. Структурно-механічне моделювання м'яса: [Текст] / В.Ю. Сухенко // Продовольча індустрія АПК. - К.: ВП "Паралель", Вип. 1. 2012. - С.30-32.

25. Сухенко В.Ю. Защитные эвтектические покрытия пищевого оборудования и влияние солей на их износостойкость [Текст] /В.Ю. Сухенко, Вестник молодежной науки – 2013: сборник научных статей студентов, аспирантов и

молодых ученых. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – С. 335-340.

26. Сухенко В.Ю. Прогнозування впливу терміну автолізу м'яса на процесі руйнування деталей подрібнювальних машин : [Текст] / В.Ю. Сухенко // Проблеми тертя та зношування: наук. техн. зб. . - К.: НАУ, 2013. - Вип. 59. - С.55-64.

27. Сухенко В.Ю. Енергетичні показники процесу вільного різання м'ясо-продуктів для ковбасних виробів [Текст] /В.Ю. Сухенко // Науковий вісник НУБіП України, 2010. Вип. 144 ч.4 серія «Техніка і енергетика АПК» с. 326-334.

28. Захист від корозії газотермічних покриттів на деталях харчового обладнання / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, В.П. Василів, С.М. Кудашев, Т.Д. Пушкар; ОНАХТ // Наукові праці ОНАХТ. - Одеса, 2012. - Вип. 42. Том 2. - С. 514-517. *(Особистий внесок здобувача: проведений аналіз та узагальнені результати, підготовлено матеріали до друку).*

29. Сухенко В.Ю. Модифікація шнеків м'ясоподрібнювальних вовчків електрофоретичними покриттями [Текст] / В.Ю. Сухенко / Науково-виробничий журнал «Техніка і технології АПК» № 11 (38), 2012, ДП «УкрЦВТ» С. 24-26.

30. Сухенко В.Ю. Оптимізація процесу отримання дрібнодисперсного фаршу для сирокочених ковбас [Текст] / В.Ю. Сухенко / Наук. праці НУХТ, 2012. Том. 1. Вип. 43. С. 95-100.

31. Сухенко В.Ю. Підвищення довговічності м'ясоподрібнювальних інструментів [Текст] / В.Ю. Сухенко / Науково-практичний журнал «Продовольча індустрія АПК» № 3 2012, ПП «Паралель» С. 30-32.

32. Мануїлов В.В. Механізм корозійно-механічного спрацювання обладнання рибної промисловості. [Текст] / В.В. Мануїлов, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, Є.В. Чайка / Науково-виробничий журнал «Рибне господарство України» № 1 (78) 2012, КДМТУ, С. 39-44. *(Особистий внесок здобувача: проведено літературний пошук, розроблена програма й методика досліджень, проведено обробку та аналіз отриманих експериментальних даних).*

33. Сухенко В.Ю. Електричні реологічні моделі м'ясних продуктів [Текст] / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко / Науково-практичний журнал «Продовольча індустрія АПК» № 5 2012, ПП «Паралель» С. 18-20. *(Особистий внесок здобувача: розроблена методика досліджень та в результаті запропонований спосіб застосування електричних моделей для дослідження пружно-в'язко-пластичних властивостей м'яса, підготовка до друку).*

34. Сухенко В.Ю. Енергозберігаючий спосіб заморожування м'яса [Текст] / В.Ю. Сухенко, А.М. Матияшук, Ю.Г. Сухенко / Науково-практичний журнал «Продовольча індустрія АПК» № 4 2012, ПП «Паралель» С. 25-27. *(Особистий внесок здобувача: постановка проблеми, аналіз і методика досліджень, проведення висновки на основі результатів досліджень, підготовка до друку).*

35. Мануїлов В.В. Перспективні шляхи підвищення довговічності обладнання харчових виробництв [Текст] / В.В. Мануїлов, Є.В. Чайка, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко / Науково-виробничий журнал «Рибне господарство України» №

3 (80) листопад 2012, КДМТУ, С. 58-62. *(Особистий внесок здобувача: проведений літературний пошук, поставлена проблема і проведений аналіз результатів досліджень)*.

36. Показники надійності обладнання харчових виробництв від зносу – та корозійної стійкості базових деталей: [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, В.П. Василів, С.М. Кудашев, А.В. Бабков, Т.Д. Пушкар; ОНАХТ // Наукові праці ОНАХТ. - Одеса, 2013. - Вип. 44. - Том. 2. - С.362-365. *(Особистий внесок здобувача: розробив схему досліджень, провів аналіз і узагальнив результати)*.

37. Сухенко Ю.Г. Зносостійкість евтектичних покриттів під впливом соляного розчину [Текст] / В. Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко, Ю.І. Бойко, В. В. Мануїлов. Науково-практичний журнал «Продовольча індустрія АПК» № 1 2013, ПП «Паралель» С. 6-9. *(Особистий внесок здобувача: проведений літературний пошук, поставлена проблема і проведений аналіз результатів досліджень)*.

38. Сухенко В.Ю. Опір спрацюванню евтектичних покриттів у розчинах харчової солі [Текст] / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко, В.В. Мануїлов / Науково-виробничий журнал «Рибне господарство України» № 3 (86) 2013, КДМТУ, С. 49-53. *(Особистий внесок здобувача: поставлена проблема і проведений аналіз результатів досліджень)*.

39. Сухенко В.Ю. Обґрунтування вибору зносостійких сталей для різальних вузлів шнекових м'ясоподрібнювальних машин (вовчків) [Текст] / В.Ю. Сухенко // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во нац. авіац. Ун-ту «НАУ-друк», 2013. – Вип. 60. – с. 67-73.

40. Сухенко В.Ю. Ступінь подрібнення та його вплив на якість в'яленої та напівкопченої продукції [Текст] / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко. Східно-Європейський журнал передових технологій. Харків. 5/10 (65) 2013. С. 40-42. *(Особистий внесок здобувача: проведений літературний пошук, розроблені методи досліджень, проаналізовані результати і підготовлена стаття до друку)*.

41. Сухенко В.Ю. Як визначити надійність різальних вовчків для подрібнення м'яса [Тест] / В.Ю. Сухенко, А.М. Матияшук, Ю.Г. Сухенко / Науково-практичний журнал «Продовольча індустрія АПК», № 6, 2013, ПП «Паралель», С. 13-16. *(Особистий внесок здобувача: проведені експериментальні дослідження та їх узагальнення, підготовлено статтю до друку)*.

42. Методика исследования процессов коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевых и перерабатывающих производств: [Текст] / А. Дзюб, В. Сухенко, В. Мануилов, Ю. Сухенко; Polish Academy of Sciences. - Lublin-Rzeszow: AgroMedia, 2014. - Vol. 16, № 3. - 74-81с. *(Особистий внесок здобувача: розробив схему і методика досліджень, забезпечив її виконання, узагальнив її результати, підготував статтю до друку)*.

43. Природа коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевой и перерабатывающей промышленности: [Текст] / Ю. Сухенко, А. Дзюб, В. Сухенко, В. Мануилов; Polish Academy of Sciences. - Lublin-Rzeszow: AgroMedia, 2014. - Vol. 16, № 3. - 90-95с. *(Особистий внесок здобувача: проведені експериментальні дослідження, їх узагальнення та підготовка до друку)*.

44. Сухенко В.Ю. Вплив ступеня подрібнення фаршів на кінетику висушування сирокочених ковбас [Текст] / В.Ю. Сухенко. Науково-практичний журнал «Продовольча індустрія АПК» № 4 2013, ПП «Паралель» С. 24-28.

45. Сухенко В.Ю. Математичне моделювання процесу транспортування і протискування м'яса в шнекових подрібнювачах [Текст] / В.Ю. Сухенко. – Наук. праці НУХТ, 2014. Том. 20. Вип. 1. С. 153-165.

Публікації, що додатково відображають зміст дисертації

46. Сухенко Ю.Г. Забезпечення довговічності м'ясорізальних вовчків переробних підприємств [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Науково-інформаційний журнал М'ясні технології світу, Вінниця: ТОВ «Word Meat Technologies», 2011 № 1-2, с. 38-43. *(Здобувачем проведений літературний пошук, отримано експериментальні дані, виконано аналіз і обробку результатів, підготовлено матеріали до друку).*

47. Таран В. М. Механічні характеристики м'яса при нормальних і низьких температурах [Текст] / В. М. Таран. Сухенко Ю. Г., В. Ю. Сухенко // Міжнародна науково-технічна конференція "Технічні науки : стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей. — 2012. — С. 13-14. — Бібліогр. : с. 14. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, підготовлено матеріали до друку).*

48. Матиящук А.М. Огляд прогресивного обладнання для подрібнення в м'ясопереробних виробництвах [Текст] / А.М. Матиящук, В.П. Василів, В.Ю. Сухенко // Мясное дело. ЧП «Корсар», - К.: -2013.-№11-12. С.17-21. *(Здобувачем проведений літературний огляд, проведений аналіз та підготовлено матеріали до друку).*

49. Сухенко Ю.Г. Забезпечення якісного подрібнення різновидів м'ясної сировини при виробництві ковбасних виробів / Сухенко Ю.Г. , В.Ю Сухенко // М'ясні технології світу/. – К., 2012. – №1. – С 6-7. *(Здобувачем проведений аналіз методів подрібнення та обґрунтований вплив факторів на процес подрібнення, підготовлено матеріали до друку).*

50. Сухенко Ю.Г. Структура і механічні властивості м'яса і м'ясопродуктів [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Науково-інформаційний журнал М'ясні технології світу, Вінниця: ТОВ «Word Meat Technologies», 2012 № 2, с. 23-27. *(Здобувачем проведений аналіз структурно-механічних властивостей м'ясопродуктів та їх вплив на якість, підготовлено статтю до друку).*

51. Сухенко Ю.Г. Зносостійкі покриття для підвищення довговічності інструментів м'ясоподрібнюючих машин [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Науково-інформаційний журнал М'ясні технології світу, Вінниця: ТОВ «Word Meat Technologies», 2012 № 3, с. 28-32. *(Здобувачем проаналізовано нагальну проблему зносостійкості покриттів, представлено перспективні шляхи її вирішення, підготовлено матеріали до друку).*

52. Сухенко В.Ю. Ефективність використання рослинних консервантів для м'ясопродуктів [Текст] / В.Ю Сухенко, Е.Р. Старкова, Ю.Г. Сухенко // Мясное дело. ЧП «Корсар», - К.: -2012.-№10. С.12-14. *(Здобувачем проаналізовано*

та запропоновані ефективні рослинні консерванти для підвищення терміну зберігання варених м'ясних продуктів).

53. Сухенко Ю.Г. Використання систем автоматизованого проектування та моделювання м'ясокомбінатів і ковбасних цехів [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, А.М. Матияшук, В.П. Василів // Мясное дело. - К.: 2013.-№10. С.15-18. *(Здобувачем проведений літературний пошук та підготовлена стаття до друку).*

54. Сухенко В.Ю. Удосконалення процесу тонкого подрібнення м'яса на підґрунті інженерної реології [Текст] / В.Ю. Сухенко. // Мясная индустрия. - К.: 2014.- Май. С.38-41. *(Здобувачем проведений аналіз та обґрунтовані режими подрібнення сировини, підготовлена стаття до друку).*

Патенти України на корисну модель

55. Патент на КМ 69577, Україна, МПК В02С 18/00 (2012.01) Вовчок для подрібнення м'яса / Шаблій М.Є., Сухенко Ю.Г., Сухенко В.Ю.; заявник і власник Національний університет біоресурсів і природокористування України u2012 08731; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. – 4 с. *(Здобувачем проведено патентний пошук, здійснено порівняльний аналіз існуючих аналогів, узагальнено та систематизовано результати, підготовлено заявку на патент).*

56. Патент на КМ 74995, Україна, МПК В02С 18/30 (2006.01) Подрібнювач м'яса / Шаблій М.Є., Сухенко Ю.Г., Сухенко В.Ю.; заявник і власник Національний університет біоресурсів і природокористування України u2011 11305; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22. – 4 с. *(Здобувачем проведено патентний пошук, узагальнено та систематизовано результати, підготовлено заявку на патент).*

57. Патент на КМ 86187, Україна, МПК В02С 18/30 (2013.01) Пристрій для подрібнення / Сухенко Ю.Г., Сухенко В.Ю., Баль-Прилипка Л.В.; заявник і власник Національний університет біоресурсів і природокористування України u2012 11407; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. – 4 с. *(Здобувачем проведено патентний пошук, здійснено порівняльний аналіз існуючих аналогів, узагальнено та систематизовано результати, підготовлено заявку на патент).*

58. Патент на КМ 86188, Україна, МПК В02С 18/00 (2013.01) Шпигорізка / Сухенко Ю.Г., Сухенко В.Ю., Баль-Прилипка Л.В., Шаблій М.Є.; заявник і власник Національний університет біоресурсів і природокористування України u2012 11408; опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. – 4 с. *(Здобувачем проведено патентний пошук, здійснено порівняльний аналіз існуючих аналогів, узагальнено та систематизовано результати, підготовлено заявку на патент).*

59. Патент на КМ 87646, Україна, МПК 2014.01 Конструкція дослідної установки для вивчення корозійної стійкості деталей технологічного обладнання / Мануїлов В.В., Сухенко Ю.Г., Сухенко В.Ю., Чайка Є.В.; заявник і власник Керченський державний морський технологічний університет u2013 11395; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3. – 4 с. *(Здобувачем проведено патентний пошук, здійснено порівняльний аналіз існуючих аналогів, підготовлено заявку на патент).*

Тези доповідей та матеріали наукових конференцій

60. Сухенко В.Ю. Критичні швидкості різання м'ясної сировини [Текст] / О.М. Ляшенко, Д.О. Подолянко, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Збірник тез доповідей за підсумками Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», 19 – 21 квітня 2010 р. — К.: НУБіП України, 2010. — С 12-13. *(Здобувачем розроблена методика досліджень, узагальнені результати)*.

61. Сухенко В.Ю. Формування триботехнічних властивостей газотермічних покриттів на деталях обладнання переробних виробництв АПК [Текст] / Є.В. Чайка, В.В. Мануїлов, В.А. Адамович, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Збірник тез доповідей за підсумками II Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», 20 – 21 квітня 2011 р. — К.: НУБіП України, 2011. — С 243-244. *(Здобувачем узагальнені результати досліджень, зроблені висновки)*.

62. Таран В.М. Механічні характеристики м'яса при нормальних і низьких температурах [Текст] / В.М. Таран, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей», 22 – 23 березня 2012 р. — К.: НУХТ, 2012. — С 13-14. *(Здобувачем розроблена методика досліджень, побудовані діаграми напружень і деформацій м'яса)*.

63. Сухенко В.Ю. Використання електроконвективного тепловідводу для заморожування м'ясної сировини [Текст] / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко // Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції “Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей”, 20-21 березня 2013 р. – К.: НУХТ, 2013. – С. 28-29. *(Здобувачем розроблена методика досліджень, узагальнені результати, зроблені висновки)*.

64. Сухенко В.Ю. Особливості виготовлення м'ясоріжучого інструменту вовчків [Текст] / В.В. Доценко, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Тези доповідей VIII Всеукраїнської наукової конференції студентів і молодих вчених «Молодь: освіта, наука, духовність» 20-21 квітня 2011 р. – К.: ВМУРол «Україна», 2011. – С. 114-115. *(Здобувачем проведені дослідження якості заточки ножем ельбором)*.

65. Сухенко В.Ю. Застосування ефекту вибіркового перенесення для підвищення довговічності м'ясорізальних інструментів [Текст] / В.А. Адамович, Л.І. Корець, В.В. Доценко, В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко // Збірник тез доповідей за підсумками II Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», 20 – 21 квітня 2011 р. — К.: НУБіП України, 2011. — С 12-13. *(Здобувачем нанесені плазмові покриття на інструменти та проведено їх випробування)*.

66. Хомічак Л.М. Тваринні жири — енергоефективні ресурси України [Текст] / Л.М. Хомічак, В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко, М.М. Муштрук Удосконалення процесів і обладнання — запорука інноваційного розвитку харчової

промисловості: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 10 - 11 квітня 2012 р.: Матеріали доп.: К.: НУХТ, 2012. - С. 37-39. *(Здобувачем розроблена методика досліджень та узагальнені результати)*.

67. Адамович В.А. Підвищення довговічності м'ясоподрібнювальних машин з застосуванням концентрованих джерел енергії [Текст] / В.А. Адамович, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Матеріали 66-ї Всеукраїнської наукової студентської конференції «Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування». - Київ, 26-30 березня 2012 р. К.: НУБіП, 2012. – С. 8-9. *(Здобувачем нанесені плазмові покриття на деталі машин, узагальнені результати їх випробувань)*.

68. Сухенко В.Ю. Трансформація субмікроструктури поверхонь тертя під дією технологічних середовищ у м'ясоподрібнювальних машинах [Текст] / В.Ю. Сухенко // Програма і матеріали XII Всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування». - Київ, 2-6 квітня 2012 р. К.: НУБіП, 2012. – С. 28.

69. Sukhenko Y.G. Preservation of meat products quality during their storage [Текст] / Y.G. Sukhenko, E.P. Starkova, V.Y. Sukhenko // Modern scientific research and their practical application, edited by Alexandr G. Shibaev, Sergiy V. Kuprienko, Alexandra D. Fedorova. Vol. J31207 (Kupriyenko Sergiy Vasilyovich, Odessa, 2012) J31207-098. *(Здобувачем розроблена методика досліджень, організовані експерименти, розроблені висновки)*.

70. Sukhenko V.J., Dependence dislocation structure deformed zone on the conditions and loading mode friction surfaces in corrosion-active media Modern scientific research and their practical application, edited by Alexandr G. Shibaev, Sergiy V. Kuprienko, Alexandra D. Fedorova. Vol. J21208 (Kupriyenko Sergiy Vasilyovich, Odessa, 2012) J21208-888.

71. Сухенко В.Ю. Роль потенціалів поверхонь тертя м'ясоподрібнювальних інструментів в процесі втрати їх працездатності [Текст] / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко // Програма і матеріали XII Всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування». – Київ, 2-6 квітня 2012 р. К.: НУБіП, 2012. – С. 36. *(Здобувач розробив експериментальну установку, дослідив потенціал тертя)*.

72. Сухенко В.Ю. Методика вибору сталей і захисних покриттів для забезпечення високої зносостійкості м'ясорізальних ножів [Текст] / В.Ю. Сухенко // Програма і матеріали XII Всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування». – Київ, 2-6 квітня 2012 р. К.: НУБіП, 2012. – С. 18.

73. Сухенко В.Ю. Вплив термінів автолізу м'яса на корозійно-механічне зношування інструментів для його подрібнення [Текст] / В.Ю. Сухенко // Програма і матеріали XII Всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розви-

тку технічних та біоенергетичних систем природокористування». - Київ, 2-6 квітня 2012 р. К.: НУБіП, 2012. – С. 48.

74. Сухенко В.Ю. Залежність дислокаційної структури деформованої зони від умов і режимів навантаження поверхонь тертя в корозійно-активних середовищах [Текст] / В.Ю. Сухенко // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2012». – Выпуск 1. Том 6. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – 112-888 – С. 91-94.

75. Сухенко В.Ю. Забезпечення якості м'ясопродуктів в процесі зберігання [Текст] / Ю.Г. Сухенко, Е.Р. Старкова, В.Ю. Сухенко // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2012». – Выпуск 1. Том 6. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – 112-888 – С. 3-5. *(Здобувачем розроблена методика досліджень, узагальнені результати).*

76. Сухенко В.Ю. Долговечность узлов резания мясоперерабатывающего оборудования: [Текст] / В.Ю. Сухенко // Сборник научных трудов X Международной научно-практической конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе - 2012». – 17-19 октября 2012, Калининград. С. 18-19.

77. Сухенко Ю.Г. Сопротивление коррозии газотермических покрытий на деталях пищевого оборудования: [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко // Сборник научных трудов X Международной научно-практической конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе - 2012». – 17-19 октября 2012, Калининград. С.21-22. *(Здобувач дослідив корозійну стійкість покриттів, побудував діаграми, зробив висновки).*

78. Сухенко В.Ю. Процесс резания мясопродуктов и его энергетика [Текст] / В.Ю. Сухенко, В.В. Доценко, С.Г. Нагайська // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов VIII Международной научной конференции студентов и аспирантов, Могилев, 26 - 27 апреля 2012 г. / «Могилевский государственный университет продовольствия». - Могилев, 2012. - 242 с. *(Здобувач дослідив зусилля різання м'ясопродуктів, оформив графічний матеріал).*

79. Сухенко В.Ю. Процесс різання м'яса та його енергетичні показники [Текст] / В.Ю. Сухенко // Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції “Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей”, 20-21 березня 2013 р. – К.: НУХТ, 2013р. – С. 28-29.

80. Сухенко В.Ю. Залежність якісних показників м'ясних консервів для дитячого і дієтичного харчування від якості подрібнення сировини [Текст] / В.Ю. Сухенко, Б.І. Леонова // Збірник праць за підсумками Першої міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «ВАВУ ЕХРО». - Київ, 2013. - С. 141-142. *(Здобувач дослідив структурно-механічні характеристики фаршів, узагальнив результати).*

81. Сухенко Ю.Г. Исследование процессов коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевых и перерабатывающих производств [Текст] / Ю.Г. Сухенко, А.Г. Дзюб, В.В. Мануилов, В.Ю. Сухенко // Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 2. Том 6. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ: 213-

477. – С.17-20. *(Здобувач розробив експериментальну установку, оцінив роль потенціалів в процесах зношування).*

82. Сухенко В.Ю. Корозійно-механічне спрацювання технологічного обладнання харчової промисловості [Текст] / В.Ю. Сухенко, В.В. Мануїлов, Ю.Г. Сухенко // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013». – Выпуск 1. Том2. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ: 113-0624. *(Здобувач розробив узагальнену схему корозійно-механічного зношування, оформив матеріали для подачі на конференцію, зробив висновки).*

АНОТАЦІЯ

Сухенко В.Ю. Науково технічні основи м'ясоподрібнювальних процесів переробних підприємств АПК. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2015.

Дисертацію присвячено науковому обґрунтуванню процесів і обладнання, що забезпечують ефективність м'ясоподрібнювальних процесів, якість продукції і підвищують рівень надійності м'ясорізальних машин та інструментів, що експлуатуються на харчових підприємствах АПК.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень, з урахуванням реологічних властивостей м'ясопродуктів та з використанням закономірностей матеріалознавства, фізико-хімічної механіки матеріалів, трибології і електрохімії на підґрунті математичного моделювання розвинута теорія процесу подрібнення м'ясної сировини, запропоновані науково-обґрунтовані рекомендації щодо удосконалення способів подрібнення, обладнання і м'ясорізальних інструментів, а також запропоновані засоби для збереження при подрібненні нативних властивостей перероблювальної сировини.

Одержані в роботі наукові результати, які розширюють уявлення про процеси подрібнення м'ясної сировини з різноманітними фізико-хіміко-механічними властивостями, дозволили розробити теоретичні основи і експериментально обґрунтувати новий концептуальний підхід у вирішенні проблеми підвищення якості напівфабрикатів і довговічності обладнання м'ясопереробних виробництв АПК, покладений в основу конструктивних і технологічних рішень, вибору режимних, кінематичних і динамічних параметрів різальних пристроїв, сталей і зносостійких покриттів для різальних інструментів, що забезпечують енерго- та матеріалозбереження при подрібненні м'яса, високу якість фаршів і готових виробів та належну довговічність обладнання.

Доведено економічну ефективність розроблених нових конструкцій м'ясоподрібнюючих машин і засобів з підвищення їх довговічності.

Ключові слова: м'ясо, якість, подрібнення, реологія, фарш, технологічне середовище, метал, моделювання, спрацювання, надійність, довговічність, дислокаційна структура, захисні покриття.

АННОТАЦИЯ

Сухенко В.Ю. Научно-технические основы мясоизмельчительных процессов перерабатывающих предприятий АПК. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 - процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. - Национальный университет пищевых технологий, Министерство образования и науки Украины, Киев, 2015.

Диссертация посвящена научному обоснованию процессов и оборудования, обеспечивающих эффективность мясоизмельчительных процессов, качество продукции и повышения уровня надежности мясорезательных машин и инструментов, которые эксплуатируются на пищевых предприятиях АПК.

На основе теоретических и экспериментальных исследований, с учетом реологических свойств мясopодуктов и с использованием закономерностей материаловедения, физико-химической механики материалов, трибологии и электрохимии на основе математического моделирования развита теория процесса измельчения мясного сырья, предложены научно-обоснованные рекомендации по совершенствованию способов измельчения, оборудования и мясорезательных инструментов, а также предложены средства для сохранения при измельчении нативных свойств перерабатываемого сырья.

Полученные в работе научные результаты, которые расширяют представление о процессах измельчения мясного сырья с различными физико-химико-механическими свойствами, позволили разработать теоретические основы и экспериментально обосновать новый концептуальный подход в решении проблемы повышения качества полуфабрикатов и долговечности оборудования мясорерабатывающих производств АПК, положенный в основу конструктивных и технологических решений, выбора режимных, кинематических и динамических параметров режущих устройств, сталей и износостойких покрытий для режущих инструментов, обеспечивающих энерго- и материалосбережение при измельчении мяса, высокое качество фарша и готовых изделий и надлежащую долговечность оборудования.

Доказано отсутствие надлежащей классификации мясоизмельчительных процессов и оборудования, обоснованного выбора материалов, конструкций и режимов измельчения, что приводит к снижению энергоэффективности процессов и качества фаршей и готовых изделий.

Отмечено, что низкая долговечность и эффективность мясоизмельчительного оборудования, прежде всего, связана с неуправляемым взаимодействием деталей с технологическими средами, которое включает сложный комплекс физических и электрохимических процессов, которые влияют на энергетическое состояние и дислокационную структуру изнашиваемых поверхностей.

Определена и математически смоделирована взаимосвязь структурно-механических характеристик фаршей и готовых изделий разного химического состава, полученных с использованием машин с разной резательной способностью, что позволяет рассчитать, определить, контролировать качество фаршей, сокращать сроки термообработки и сушки готовых изделий, увеличивать их выход,

экономить энергетические и материальные ресурсы и использовать полученные результаты при конструировании оборудования.

Предложен параметр энергетической эффективности, который позволяет сравнивать любые измельчители.

Математические модели разрушения хрупких, высокоэластичных и пластичных мясопродуктов позволили определить требования к мясоизмельчительному оборудованию, классифицировать его за структурой материальных потоков и обосновать алгоритм поиска и проектирования оборудования для измельчения разновидностей мяса.

Определены факторы, влияющие на субмикроструктуру и дислокационную структуру измельчительных инструментов при их взаимодействии с мясным сырьем с разной глубиной автолиза, что стало основанием для обоснованного выбора материалов, технологии их изготовления и упрочнения для обеспечения природной самоорганизации и трибоэлектрохимической энергостабилизации процессов на рабочих поверхностях деталей резательных машин.

Построена модель коррозионно-механического изнашивания материалов в технологических средах отрасли и на этой основе предложена методика прогнозирования свойств и показателей надежности измельчительного оборудования.

Разработаны новые эффективные конструкции измельчительных машин и резательных инструментов, которые внедрены в промышленное производство.

Результаты исследований внесены в учебник, учебные пособия и используются в высших учебных заведениях Украины.

Доказана экономическая эффективность разработанных конструкций мясоизмельчительных машин и средств повышения их долговечности.

Ключевые слова: мясо, качество, измельчение, реология, фарш, технологическое среды, металл, моделирование, износ, надежность, долговечность, дислокационная структура, защитные покрытия.

ABSTRACT

Sukhenko V.Y. Scientific and technical basis meat grinding processes processing of agricultural enterprises. - Manuscript.

Thesis for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.18.12 - processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical industries. - National University of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kiev, 2015.

The dissertation is devoted to scientific substantiation processes and equipment to ensure the effectiveness of meat grinding processes, product quality and enhance reliability meat grinding machines and tools, which are operated at the food enterprises of AIC.

On the basis of theoretical and experimental studies, based on the rheological properties of meat and using the laws of material science, physical-chemical mechanics of materials, tribology and electrochemistry based on mathematical modeling developed a theory of the grinding process of raw meat, offered evidence-based recommendations

for improving the grinding methods, equipment and meat grinding tools, and provides a means for the preservation of the milling native properties of the feedstock.

Obtained in the scientific results that enhance understanding of the processes of grinding raw meat with different physico-chemical and mechanical properties helped to develop the theoretical foundations and experimentally prove a new conceptual approach to solving the problem of improving the quality of finished products and equipment longevity meat production agriculture, which is the basis of constructive and technological solutions, the choice of regime, kinematic and dynamic parameters of the cutting devices, steel and wear-resistant coatings for cutting tools that provide energy and saving materials science by grinding meat, minced meat and high quality finished products and appropriate durability of the equipment.

Proven cost-effectiveness of structures developed meat grinding machines and tools to improve their durability.

Keywords: meat, quality, refinement, rheology, stuffing, technological environment, metal, modeling, wear, reliability, durability, dislocation structure, protective coatings.

