

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА СПРАЦЮВАННЯ ВАЛКОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ФОРМУВАЛЬНИХ МАШИН

Гіджеліцький В. М., к.т.н., доцент

доцент кафедри професійної освіти та технологій за профілями
Уманський державний педагогічний університет ім. П. Тичини, м. Умань, Україна
ORCID ID 0000-0001-5959-514X

Стадник І. Я., д.т.н., професор

професор кафедри обладнання харчових технологій
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна
ORCID ID 0000-0003-4126-3256

Василів В. П., к.т.н., доцент

доцент кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-2109-0522

Кос Т. С., к.т.н.

с.н.с. відділу інформаційного забезпечення, стандартизації та метрології
Інституту продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-1158-0763

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-05>

В Україні і за кордоном ведуться інтенсивні роботи з розробки нового покоління високоефективного обладнання для формування, розкачування, транспортування, розділення із використанням різних конструкцій валкових робочих органів. Основною вимогою до проектування такого обладнання є забезпечення можливих конструкцій за технічними характеристиками замовника в короткий інтервал часу із малими витратами і високою надійністю. Індустріальні технології потребують розробки автоматизованих комплексів з комп'ютерним програмним управлінням, які дадуть можливість оперативно реагувати на актуальні вимоги до довговічності і якості спрацювання машин. Робочі середовища за своїм складом і природою дуже різноманітні. Їх умовно можна розділити на газоподібні, рідкі, тверді, що містять хімічні та поверхнево-активні речовини. У статті розглянуто середовища із складом хімічних та поверхнево-активних речовин які, потрапляючи на поверхню рухомих валків, викликають корозійне руйнування і зношування або корозійно-механічне спрацювання. Оскільки тертя завжди супроводжується нагріванням в умовах корозійно-механічного зношування, вирішальне значення для оцінки якості терморегулювання має тривалість встановлення температури в чутливому середовищі, яке представляє особливий інтерес з точки зору порівняння якості чутливого валка в старому та новому виконанні. Встановлено, що температура середовища змінюється не тільки в часі, але і по висоті робочої камери, оскільки гідродинамічний процес відрізняється досить великою складністю, і тому нами передбачено шляхи для вивчення природи цього процесу з належною точністю задати коефіцієнт тепловіддачі. При високій інтенсифікації теплообмінних процесів було відмічено, що визначити коефіцієнт тепловіддачі неможливо – надто складними є гідродинамічні умови.

Ключові слова: поверхнево-активні речовини, середовище, гідродинамічний процес, коефіцієнт тепловіддачі, сили тертя, валки

THE IMPACT OF THE TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT ON THE FACILITATION OF THE ROLLING WORKING BODIES OF FORMING MACHINES

*Gidzheliczkyi Vitalii, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Vocational Education and Technology according to the profiles of Pavel Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine
ORCID ID 0000-0001-5959-514X*

*Stadnyk Ihor, PhD, Professor Professor of the Department of Food Technology Equipment Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Ternopil, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-4126-3256*

*Vasyliiv Volodymyr, PhD, Associate Professor, Associate Professor Department of Processes and Equipment for Processing of Agricultural Products National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-2109-0522*

*Kos Tetiana, PhD Senior Researcher of Department of International Support, Standardization and Metrology Institute of Food Resources of NAAS of Ukraine, Kyiv
ORCID ID 0000-0002-1158-0763*

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-05>

Intensive work is underway in Ukraine and abroad to develop a new generation of high-performance equipment for forming, pumping, transporting, separating using different designs of roller working bodies. The basic requirement for the design of such equipment is to provide the possible designs according to the specifications of the customer in a short interval of time with low costs and high reliability. Industrial technologies require the development of computer-aided software systems that will quickly respond to today's demands for machine longevity and quality. Working environments in their composition and nature are very diverse. They can be conditionally divided into gaseous, liquid, solid, containing chemical and surfactants. The article deals with environments with the composition of chemical and surfactants which, when they reach the surface of the moving rolls, cause corrosion destruction and wear or corrosion-mechanical actuation. Since friction is always accompanied by heating under conditions of corrosion-mechanical wear, the duration of setting the temperature in a sensitive environment is of decisive importance for evaluating the quality of thermoregulation, which is of particular interest in terms of comparing the quality of the sensitive roll in the old and new designs. It is established that the temperature of the environment varies not only in time, but also in the height of the working chamber, since the hydrodynamic process is quite complex, and therefore we provide ways to study the nature of this process with due accuracy set the heat transfer coefficient. With the high intensification of heat transfer processes, it was noted that it is impossible to determine the coefficient of heat transfer – too difficult hydrodynamic conditions.

Keywords: *surfactants, environment, hydrodynamic process, coefficient of heat transfer, friction forces, rolls*

Вступ. Аналіз сучасного стану парку устаткування харчової галузі України свідчить про те, що його технічний рівень не можна визнати задовільним. Характерною особливістю формувального обладнання (ФО) є наявність валкових рухомих робочих органів, що механічно впливають на середовище при безпосередньому контакті з ним. Це активно впливає на процес їх зношування. Так як середовище, в більшості випадків є агресивними і, при контактуванні їх з металами, розвивається електрохімічна корозія [1, 2].

Робочі середовища, потрапляючи на поверхню рухомих валків, викликають корозійне руйнування і зношування, або комплексне корозійно-механічне спрацювання. Це визначення

корозійно-механічного зношування (КМЗ) знайшло своє відображення в ГОСТ 23.002-78, де цей вид зношування трактується, як «зношування в результаті механічної взаємодії, яке супроводжується хімічною і (або) електричною взаємодією матеріалу з середовищем».

Робочі середовища харчової промисловості в більшості випадків є **неньютонівськими рідинами**. Контакт з валками викликає на їх поверхні корозію, яка спричиняє не тільки втрати металів, але також зниження механічної міцності конструкцій машин. Пошкодження від корозії призводять до зменшення точності і тривалості роботи нагнітальних механізмів формувальних, тістоподільних, тістомісильних машин. Продукти корозії забруднюють пази валків, пошкоджують зовнішній вигляд і, потрапляючи в харчовий продукт, знижують його якість. Взаємодія робочих середовищ з поверхнею валків, що зумовлює корозійне руйнування металу, визначається рядом внутрішніх та зовнішніх чинників. Загальний вигляд обертових валків формувальної машини представлено на рис. 1.

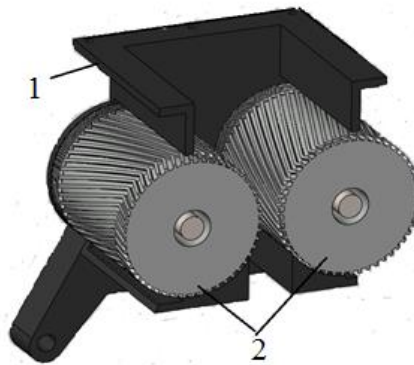


Рис. 1. Нагнітальні валки формувальної машини:
1 – робоча камера; 2 – обертові валки з гвинтовими пазами

Аналіз системних впливів на спрацювання валкових робочих органів. В ряді робіт [3, 4] показано, що зносостійкість металів в хімічних і корозійно-активних середовищах визначається в основному їх корозійною стійкістю. Вона обумовлена характером та інтенсивністю хімічних (електрохімічних) процесів, що протікають на поверхнях тертя, та швидкістю утворення продуктів корозії. В той же час, важко передбачити поведінку матеріалу при терті в агресивних середовищах. Використання раціональних матеріалів і захисних покриттів, які характеризуються високою зносостійкістю в середовищах борошняного виробництва, ускладнюється через відсутність належної кількості достовірних даних.

Внутрішні фактори визначаються природою і будовою металу валків, способом їх обробки, напруженнями, які виникають при експлуатації. Зовнішні фактори пов'язані з характеристиками корозійних середовищ і умовами навантаження деталей. Вони характеризують зовнішні умови експлуатації машин, визначають якісну і кількісну сторони явищ.

З аналізу даних літературних джерел та досліджень підприємств кондитерської промисловості [5,6] випливає, що якість виконуваної роботи валками залежить від комплексу параметрів, які можна поділити на наступні категорії:

- форма, кінематика, стан і геометричні параметри валка;
- фізико-хімічні властивості середовища;
- експлуатаційні умови роботи: зазор між валками, зусилля взаємного стискання середовища, частота їх обертання;
- особливості тертя в рідких електропровідних середовищах.

Зазвичай результати зношування валкових робочих органів машин оцінюються вимірами зносу, які поділяються на характеристики службові і матеріальні [5, 6]. До

службових характеристик зносу відносяться показники, що характеризують якість технологічного процесу. Найбільш вживаними матеріальними характеристиками зносу можуть бути товщина пазів і форма його поперечного перерізу, форма контуру по довжині валка та кут затягування і нагнітання середовища.

В роботах [2, 3, 7, 9] висвітлено питання про вплив електрохімічних корозійних процесів на механічні властивості металів. Вказано, що цей вплив проявляється в значній мірі і при терті та зношуванні металів. Наявність хімічно активного середовища на поверхні тертя може у декілька разів збільшити знос і навіть змінити характер цього процесу [7]. В нейтральних середовищах (вода, розчини кухонної солі) переважає киснева деполаризація за рахунок розчиненого в середовищі кисню.

За характером взаємодії з металами робочі середовища можна розділити на хімічно- і поверхнево-активні. В групу хімічно-активних середовищ входять водні розчини кислот, лугів, солей. Їх особливість є та, що молекули розчинених в них речовин можуть дисоціювати і, тим самим, обумовлюють можливість протікання електрохімічних корозійних процесів.

Необхідно відмітити, що валкові робочі органи експлуатуються в умовах підвищеної вологості. Пари води, адсорбуючись на поверхні валків, а також розчинені гази (CO_2), створюють умови для протікання електрохімічних реакцій. Робочі середовища хлібопекарської та кондитерської промисловості в більшості випадків є електрохімічними суспензіями. Тому процес корозійно-механічного зношування валкових робочих органів в більшості випадків протікає в умовах електрохімічного впливу середовищ.

Значна кількість речовин в середовищі, зміна їх концентрацій, взаємодії між ними і мікроорганізмами, присутність стимуляторів, тощо, призводять до відносної нестабільності системи. За таких умов існує розуміння того, що в якому напрямку слід оцінювати впливи окремих факторів. З першого погляду може здатися, що в найкращому випадку має відповідати максимальне задоволення або забезпечення на верхніх рівнях факторів впливу. Проте негативні наслідки також слід програмувати, наприклад, за величинами осмотичних тисків, подвійних і потрійних впливів факторів, погіршення якісних показників продукції тощо. Оцінювати впливи композицій факторів тим більш складно. Якщо вплив температури ретельно можна відслідкувати, то відносно фізичного тиску завершеної точки зору не існує [6,7,8]. Проте положення термодинаміки тісно пов'язують параметри тиску і температури, в газових законах, рівнянні Менделєєва-Клапейрона, законі Генрі тощо.

Оберткові валки формувальних машин, які працюють в технологічних середовищах (тісто) з постійним впливом адгезії і сил тертя, можна розглядати, як металеві електроди, заглиблені в електроліт. Вони електрично заряджаються відносно розчину, що призводить до виникнення різниці потенціалів. Особливості тертя металів в рідких електропровідних харчових середовищах полягає в тому, що цей процес залежить від електродних потенціалів ϕ їх поверхонь, виміряних по відношенню до деякого електроду, порівняльно-фундаментальної характеристики електрохімічних систем [7,8]. Такий підхід привів до виникнення нового напрямку, що народився на межі трибології і електрохімії та є розділом фізико-хімічної механіки матеріалів. Взаємодія зовнішніх середовищ з поверхнею металу розглядається зазвичай з точки зору утворення граничних плівок, адсорбційного зниження міцності і пластифікування металу, який деформується, хімічного модифікування поверхневих шарів.

Утворення на поверхнях металів плівок-продуктів взаємодії з середовищем призводить до зміни їх потенціалів, що впливає на механічні властивості і, відповідно, на інтенсивність зношування. Природа плівок буде обумовлена хімічними властивостями середовища, його складом, наявністю розчиненого кисню та інших газів. Крім того, плівки можуть виконувати роль мастила і зумовити зменшення коефіцієнту тертя. Інтенсивність корозійних процесів визначається щільністю, адгезійною здатністю плівок по відношенню до основного металу, їх зносостійкістю [2,6].

Оскільки тертя завжди супроводжується перемішуванням рідин з їх нагріванням, такі впливи, як дія валків на тісто, досліджено не досить докладно. Тому для правильного вибору матеріалів та встановлення зношування поверхні, працюючих в умовах корозійно-механічного зношування, а також для вивчення природи цього процесу велике значення має визначення дійсної швидкості зношування при терті.

Проблема ускладнюється не тільки динамікою поступового розвитку процесів зношування та руйнування поверхонь фрикційного контакту у часі на мікрорівні, широким експлуатаційним діапазоном температур та навантажень тощо, але й специфікою будови тіста, що обумовлює специфіку їх руйнування.

Тертя в середовищі обертових валків представляє собою імпульсний коливальний процес, внаслідок чого можуть коливатись значення μ . Коливальні процеси роблять суттєвий вплив на процеси адсорбції [8]. Найбільш перспективним є електрохімічний метод дослідження поверхонь тертя. Застосування і подальший розвиток цього методу дозволяє глибше вивчити механізм і закономірності корозійно-механічного зношування металів і сплавів в технологічних середовищах галузі. Дослідження засобів зменшення зносу валків при терті в агресивних середовищах галузі має проводитися в основному в двох напрямках: використання матеріалів, які можуть протистояти корозії і зношуванню в різних експлуатаційних умовах; використання електрохімічного захисту для зменшення КМЗ деталей, виготовлених з недефіцитних металів і сплавів.

Постановка задачі. При нагнітанні маси середовища валками технологічні процеси активно досліджуються як експериментально, так і теоретично. Утворена температура з розподілом в середовищі при дії валків, значно впливає на його структуру і поверхню валків. Для розрахунку розподілу температури нагрівання валка тертям необхідно, насамперед, визначити швидкість виділення тепла на границі розділу середовище-валок. Існують чотири методи розрахунку виділення тепла при терті. Два з них засновані на коефіцієнті тертя, третій – на експериментальному визначенні розсіювання потужності, і четвертий – на зворотній моделі теплопровідності для оцінки виділення тепла [10, 11].

Мета статті. Виконати розрахунок тепловиділення при нагнітанні середовища валками з використанням методу, який ґрунтується на вирішенні зворотної задачі теплопровідності.

Викладення основного матеріалу. При дослідженні процесів тертя та зношування поверхонь валків використанням методів термодинаміки необоротних процесів, як правило, використовують традиційні методи вимірювань та контролю. До таких методів відносять вимірювання та контроль температури в безпосередній близькості від зони тертя, а також вимірювання та контроль сили або моменту тертя поверхонь фрикційного контакту.

Низька чутливість до процесів тертя та зношування на мікрорівні, реакція на необоротні процеси, які виникають на стадіях катастрофічного руйнування поверхонь, складність інтерпретації отриманої інформації про зміни стану поверхонь фрикційного контакту призводить до низької достовірності існуючих методів контролю та діагностики. Тому при дослідженні процесів тертя та зношування поверхонь фрикційного контакту валків із тістом використовуються нетрадиційні методи, що володіють високою чутливістю до процесів, які виникають при терті поверхонь на мікрорівні.

Необхідність забезпечення гарантованої надійності валкових машин, запобігання їх відмов, зменшення втрат від пошкодження та руйнування виробів в цілому потребує вдосконалення та розробки методів контролю та діагностики стану поверхонь фрикційного контакту з підвищенням їх достовірності.

Експериментальні дані по визначенню температури нагрівання валка в процесі нагнітання, одержані за допомогою розташованих у зоні нагрівання термопар. Використаємо для розрахунку тепловий потік на поверхні тертя (рис.2).

При виборі теплового параметра доводиться враховувати, з одного боку, зовнішні умови, зокрема мікроклімат цеху, з іншого – баланс тепла робочої камери машини (тобто тепло, що виділяється в процесі нагнітання, тепло внесене середовищем). З всіх чинників, більшою чи меншою мірою, вони впливають на загальну температуру середовища.

Практично лише один виявляється придатним для активного впливу на середовище – температура, що утворюється в робочій камері при нагнітанні.

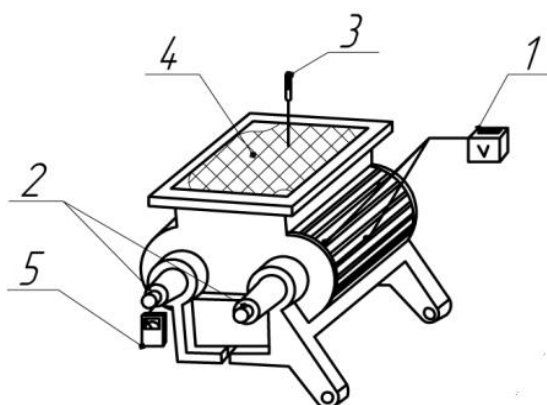


Рис.2. Схема установки для визначення температури:

1 – термопара з осцилографом; 2 – обертові валки; 3 – термометр; 4 – тїсто; 5 – тахометр

Зміну температури в процесі нагнітання вимірювали за допомогою чотирьох термопар, закріплених на поверхні валка відповідно на відстані 5; 15 і 25 мм від торця валка. Вирішальне значення для оцінки якості терморегулювання має тривалість встановлення температури в чутливому середовищі. Це питання представляє особливий інтерес з точки зору порівняння якості чутливого валка в старому та новому виконанні. Вона ускладнена тим, що температура середовища змінюється не тільки в часі, але і по висоті робочої камери. Крім того, не можна точно сформулювати граничні умови, так як гідродинамічний процес відрізняється досить великою складністю і тому не можна з належною точністю задати коефіцієнт тепловіддачі.

При визначенні характеру температурного поля середовища по висоті було проведено зіставлення одночасного запису температури в двох поясах: спочатку у верхньому і нижньому, а потім у верхньому і середньому (із збереженням зазначеного розташування термопар). Отримані осцилограми свідчать про розшарування температури по висоті, але, разом з тим, привертає на себе увагу періодичність температурного ходу середовища, а також синхронність зміни температури на різній висоті. На рис. 3 представлена одна з осцилограм.

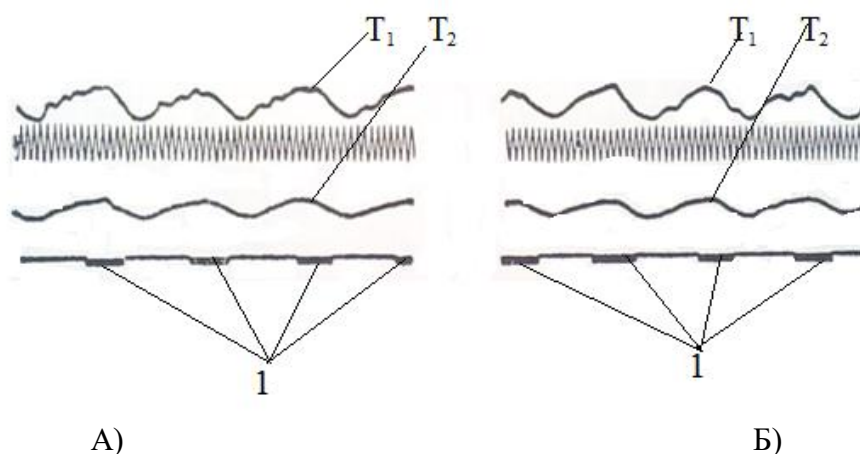


Рис.3. Зміна температури над поверхнею валка 1 після:
а) – шостого; б) – восьмого циклів нагнітання

Дослідження встановили, що відбувається приблизно рівномірно виділення тепла. Цикл виділення досить короткий, і втрати тепла на випромінювання й конвекцію незначні. Розподіл температури по площині, паралельній поверхні тертя, є рівномірним.

Відповідно до цього реальну картину зміни температури в об'ємі також допустимо замінити картиною зміни її середньої арифметичної величини. Надалі прийняті наступні позначення: T'' і T' – поточні температури середовища і валка; τ – час; c – теплоємність матеріалу валка; ρ – його густина; F – бокова поверхня; V – об'єм; r – радіус; h – висота; α – коефіцієнт тепловіддачі; α , ρ , c , F і V – постійні параметри процесу.

Дійсна зміна температури по часі апроксимується лінійною функцією:

$$T'' = T' \theta \pm a \tau, \quad (1)$$

де позитивний знак при другому доданку відповідає прогріванню середовища, а негативний – охолодженню.

Рівняння теплообміну запишемо в наступному вигляді:

$$\alpha (T'' - T') F d\tau = c \rho V dT', \quad (2)$$

Приймаємо позначення:

$$k = \frac{\alpha}{c\rho} \frac{F}{V}, \quad (3)$$

Отримуємо:

$$(4)$$

Початкову температуру середовища приймаємо за початок 0 відліку і відповідно вводимо позначення: $T' - T'' = \vartheta$.

ϑ – являє собою надлишкову температуру металу по відношенню до початкової температури середовища.

Таким чином, при охолодженні $\vartheta > 0$, а при нагріванні $\vartheta < 0$. Отже,

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -k(\vartheta - \alpha r), \text{ або } \vartheta' + k\vartheta = k\alpha r \quad (5)$$

Це звичайне диференціальне рівняння, лінійне, першого порядку, неоднорідне. Його загальне рішення виходить як сума двох рішень: загального розв'язання однорідного рівняння ϑ і власного розв'язання неоднорідного рівняння ϑ_2 .

В умовах нагнітання, коли частина валка не знаходиться в контакті із середовищем, вільний рух повітря ззовні робочої камери виражений надзвичайно слабо і, як показує оцінка, ефективний коефіцієнт теплопровідності співпадає з істинним. Тому теплообмін в цій конструкції відбувається за рахунок теплопровідності і випромінювання.

Для визначення інтенсивності теплообміну введемо сумарний коефіцієнт тепловіддачі, представивши його у вигляді

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_L \quad (6)$$

При цьому перший доданок, відповідає конструктивному переносу тепла, визначиться у вигляді

$$\alpha_K = \frac{\lambda}{\vartheta_B} \quad (7)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності повітря;

ϑ_B – товщина повітряного прошарку.

Другий доданок, що характеризує теплообмін випромінюванням, знаходиться з рівняння

$$\alpha_{II} = c \frac{\left(\frac{T_{mp}}{1000}\right)^4 - \left(\frac{T_{cm}}{1000}\right)^4}{T_{mp} - T_{cm}} \equiv c \mathcal{G} \quad (8)$$

де T_{mp} – абсолютна температура внутрішньої поверхні валка;

T_{cm} – абсолютна температура поверхні валка;

c – коефіцієнт випромінювання системи валка.

Коефіцієнт c визначається за формулою

$$c = \frac{1}{\frac{F_{cm}}{F_{mp}} \left(\frac{1}{c_{cm}} - \frac{1}{c_{\epsilon}} \right)} \quad (9)$$

Тут, c_{cm} і c_{ϵ} – відповідно коефіцієнти випромінювання абсолютно чорного тіла та матеріалу валка. Через малу товщину і високу теплопровідність стінки валка можна вважати, що температура її обох поверхонь однакова.

Тривалості встановлення температурного режиму, виходячи з умови, що відносна надмірна температура в усіх випадках нагнітання має однакове задане значення, тому:

$$\tau = \frac{\ln \frac{\mathcal{G}}{\mathcal{G}_0}}{k} \quad (10)$$

Таким чином, час встановлення температурного режиму є величина, зворотна k .

Висновки. У процесі нагнітання середовища, що заповнює зазор, воно рухається з помітною швидкістю. Все це сильно інтенсифікує теплообмін. Як уже було зазначено, в цих умовах точно визначити коефіцієнт тепловіддачі неможливо – занадто складні гідродинамічні умови.

Бібліографія

1. Комиссаров С. С. Исследование процесса измельчения мясного сырья в волчках и разработка ножевых головок: Дис. канд. тех. наук: 05.18.12/М., 2003. 159 с.
2. Сухенко В.Ю., Дзюб А., Мануилов В., Сухенко Ю. Методика исследования процессов коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевых и перерабатывающих производств. Polish Academy of Sciences. Lublin-Rzeszow. AgroMedia, 2014. Vol. 16, №3. 74-81с.
3. Виноградов И. Э. Физические методы исследования противозадирных присадок к маслам. Методы оценки противозадирных и противозадирных противоизносных свойств смазочных материалов. М.: Наука, 1969, с.21-24.
4. Крагельский И. В. Некоторые задачи науки о трении. В об. «Проблемы трения и изнашивания», К., «Техника», 1981, вып.1, с.11-17.
5. Деркач А. П., Стадник І. Я., Василів В. П. Застосування експериментально-статистичного моделювання для дослідження параметрів надійності валкових машин. Научный взгляд в будущее. №2, 2016. с. 63-66.
6. Рябченков А. В. Коррозионно-усталостная прочность стали. М.: Машгиз. 1953. 215 с.
7. Балтер М. А. Упрочнение деталей машин противозадирных. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1988. 184с.
8. Ребиндер П. А., Елифанов Г. И. Влияние поверхностно-активной среды на граничное течение знос. Развитие теории трения и изнашивания. М.: АН СССР, 1957, с.47-56.
9. Фрумкин А. Н. Потенциалы нулевого заряда. М.: Наука, 1982. 259 с.
10. Сухенко В. Ю. Науково-технічні основи мясоподрібнювальних процесів переробних підприємств АПК. Дис. док. техн. наук: 05.18.12. К.: 2015. с. 584.

11. Мачихин Ю. А., Мачихин С. А. Инженерная реология пищевых материалов. М: Легкая и пищевая пром-сть, 1991. 216 с.

12. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. М: Высшая школа, 1980. 69 с.

References

1. Komyssarov S. (2003). Yssledovanye protsessa yzmelcheniya miasnoho сыria v volchkakh y razrabotka nozhevyykh holovok: Dys. kand. tekhn. Nauk. [Research of the process of grinding meat raw materials in tops and development of knife heads: Dis. Cand. those. Sciences]. 159 p. [in Russian].

2. Sukhenko V., Dziub A., Manuylov V., Sukhenko Yu. (2014). Metodyka yssledovaniya protsessov korrozyonno-mekhanycheskoho yznashyvaniya oborudovaniya pishchevykh y pererabatyvaiushchykh proyzvodstv. Methods of study of processes of corrosion-mechanical wear of equipment of food and processing industries. polish Academy of Sciences. Lublin-Rzeszow; AgroMedia. Polish Academy of Sciences. Lublin-Rzeszow; AgroMedia. №3. P. 74-81 [in Russian].

3. Vynogradov Y. (1969). Fyzycheskye metody yssledovaniya protyvozadyrnykh prysadok k maslam. Metody otsenky protyvozadyrnykh y protyvozadyrnykh protyvoznosnykh svoystv smazochnykh materyalov. [Physical methods for the study of anti-seizure additives for oils. Methods for evaluating the anti-seizure and anti-seizure anti-wear properties of lubricants]. Nauka. p.21-24. [in Russian].

4. Krahelskiy Y. (1981). Nekotorye zadachy nauky o trenny. [Some Problems of Friction Science]. Technology. p.11-17. [in Russian].

5. Derkach A., Stadnyk I., Vasylyv V. (2016). Zastosuvannya eksperymentalno-statystychnoho modeliuvaniya dlia doslidzhennia parametriv nadiinosti valkovykh mashyn. [Application of experimental-statistical modeling to study the reliability parameters of roller machines]. Nauchnyi vzghliad v budushchee. [A scientific look into the future]. №2. p. 63-66. [in Russian].

6. Riabchenkov A. (1953). Korrozyonno-ustalostnaia prochnost staly. [Corrosion-fatigue strength of steel]. Mashhyz. p. 215. [in Russian].

7. Balter M. (1988). Uprochnenye detalei mashyn. [Strengthening machine parts]. Mashynostroenye. p. 184. [in Russian].

8. Rebynder P., Epyfanov H. (1957). Vlyaniye poverkhosno-aktivnoi sredy na hranychnoe techenye yznos v kn. Razvitye teoryy treniya y yznashyvaniya. [Influence of surface-active medium on the boundary current and wear. Development of the theory of friction and wear]. [Academy of Sciences of the USSR]. p.47-56. [in Russian].

9. Frumkin A. (1982). Potentsyal nulevoho zariada. [Zero-charge potentials]. 259 p. [in Russian].

10. Sukhenko V. (2015). Naukovo-tekhichni osnovy miasopodribniuvalnykh protsesiv pereobky pidpriemstv APK. [Scientific and technical bases of meat-processing processes of processing of agricultural enterprises]. Kyiv: 584. p. [in Ukrainian].

11. Machykhyn Yu., Machykhyn S. (1991). Ynzhenernaia reolohiia pishchevykh materyalov. [Engineering rheology of food materials]. Lehkaia y pishchevaia prom. [Light and food production]. 216 p. [in Russian].

12. Nashchokyn V. (1980). Tekhnycheskaia termodynamyka y teploperedacha. [Technical thermodynamics and heat transfer]. Nashchokyn. [Higher School]. 469 p. [in Russian].