

УДК 664.002.5:620.193

В.В. Мануїлов<sup>1</sup>, О.Д. Сушков<sup>1</sup>, Ю.Г. Сухенко<sup>2</sup>, В.Ю. Сухенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Керченський державний морський технологічний університет,<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ЕФЕКТИВНІ ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ РИБОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

*У статті розглянуті основні засоби забезпечення надійності, довговічності та можливості відновлення деталей обладнання рибопереробних виробництв.*

Ключові слова: *довговічність, корозія, ерозія, вузли тертя, надійність.*

**Постановка проблеми.** Проблема надійності і довговічності є однією з основних, що визначає ефективність роботи будь-якого виробництва. Але для підприємств переробних галузей вона набуває особливого значення. Втрати працездатності обладнання внаслідок відмов приводять до простоїв, значних витрат на ремонт та запасні частини, а також до псування цінної харчової сировини, напівпродуктів і продукції [1].

У більшості випадків довговічність обладнання переробних і харчових виробництв пов'язана з проблемою спрацювання окремих деталей та вузлів. Тому підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя є основним напрямком підвищення надійності і довговічності обладнання [2].

**Мета дослідження** – намітити перспективні напрямки забезпечення високого рівня зносостійкості і надійності переробного і харчового обладнання АПК.

**Результати досліджень.** За причинами, що супроводжують руйнування поверхневих шарів деталей обладнання переробних і харчових виробництв, розрізняють такі основні види зношування: механічне, що відбувається внаслідок механічних дій, та корозійно-механічне, яке спричиняється механічною дією, що супроводжується хімічною взаємодією матеріалу деталі і технологічного середовища.

В залежності від конкретних умов експлуатації і ознак руйнування деталей розрізняють ще такі різновиди зношування: абразивне та гідроабразивне, ерозійне, втомлювальне, зношування при зчепленні, окислювальне. Усі названі різновиди зношування проявляються при експлуатації деталей харчового обладнання.

Робота обладнання при механічному контакті і взаємному переміщенні сполучених деталей завжди супроводжується явищами зовнішнього тертя, які призводять до значних витрат енергії, зношування деталей і втрати ними працездатності. Тому забезпечення високої зносостійкості деталей вузлів тертя створює необхідні передумови для досягнення належного рівня надійності устаткування.

На переробних підприємствах (рибопереробних, консервних, бродильних, крохмально-патокових, цукрових та ін.) термін служби деяких видів обладнання визначається, в значній мірі, корозійною стійкістю деталей. Але в більшості випадків процес спрацювання і руйнування поверхневих шарів деталей в умовах тертя має корозійно-механічний характер, який залежить від складу і корозійних властивостей середовища та інтенсивності механічного навантаження.

Враховуючи, що більшість технологічних процесів харчової промисловості і переробних виробництв відбувається в рідкій фазі, значна частина деталей обладнання піддається дії швидкоплинних потоків рідин, що спричиняє їх інтенсивне кавітаційно-ерозійне зношування. Внаслідок цього виходять з ладу деталі проточної частини відцентрових насосів, центрифуги, сепаратори, гомогенізатори, арматура та ін. За даними цукрових та крохмально-патокових заводів і рибопереробних підприємств витрати на ремонт насосного парку, який на кожному з них налічував від 30 до 100 одиниць, становить 20 – 30 % витрат на ремонт всього обладнання. На цих заводах деталі насосів потребують заміни через 2 – 4 місяці роботи, а робочі колеса – навіть через 20 – 30 днів.

Відомо, що забезпечення надійності і довговічності обладнання ґрунтується на виконанні певних умов і заходів на етапах проектування, виготовлення та експлуатації. Враховуючи, що при сучасному рівні проектування й міцнісних розрахунків ймовірність раптових відмов досить незначна і вони, в більшості випадків, виявляються і усуваються під час налагодження обладнання, зносостійкість деталей є визначальним чинником у вирішенні проблеми забезпечення їх довговічності. Тому засобом боротьби зі спрацюванням деталей приділяється особлива увага на всіх ви-

значених вище етапах. Вирішальна роль відводиться раціональному вибору матеріалів і технологічним методам поверхневої обробки деталей.

У промисловості існує багато технологічних методів впливу і керування складом, структурою і властивостями поверхневих шарів деталей обладнання. Усе більшого поширення вони набувають і на підприємствах переробного комплексу. Раціональне використання цих методів не лише при виготовленні, але також і при відновленні деталей дозволяє значно збільшити термін їх служби.

Процес зношування деталей – це досить складне явище, яке супроводжується локалізованими в тонких поверхневих шарах деталей машин процесами деформації, утворення і руйнування містків зчеплення, топографічними і структурними змінами поверхонь, хімічною взаємодією сполучених деталей між собою й зовнішнім середовищем. Останнє має особливе значення для деталей обладнання харчових виробництв [1, 2].

На відміну від інших галузей, робота обладнання переробних і харчових виробництв характеризується безпосереднім контактом поверхонь деталей з сировиною, напівпродуктами та продуктами, які можуть знаходитись у різному стані (здебільше в рідкому). Тому, в першу чергу, властивості технологічних середовищ та їх взаємодія з поверхневими шарами деталей визначають характер і особливості зношування обладнання. Технологічні середовища переробних виробництв вирізняються значною хімічною і поверхневою активністю, справляють значний вплив на визначальний вид зношування і його інтенсивність. Серед них різновиди води (водопровідна, питна, технічна, морська, госпфекальна, транспортно-мийна, барометрична, сульфатована, аміачна та ін.), соки (дифузійний, дефекований, сатурований, сульфатований та ін.), сиропи, утфелі, меляси, крохмалі, жири, мінеральні речовини, клітковини, спирти, кислоти, солі, мийні та дезінфікуючі розчини і таке інше. Таким чином, розмаїття складу і властивостей технологічних середовищ харчових і переробних виробництв визначає особливості і складність вивчення процесів спрацювання деталей і обумовлює значні труднощі у розробці загальних рекомендацій з підвищення довговічності обладнання.

Багаторічні дослідження, проведені на великій кількості підприємств переробної і харчової промисловості, дали можливість установити, що при експлуатації технологічного обладнання зустрічаються усі названі вище види зношування деталей.

Інтенсивному зношуванню при зчепленні підлягають деталі кулачкових механізмів різноманітних продовольчих автоматів, вали компресорів, елементи ланцюгових транспортерів на рибопереробних, цукрових підприємствах та хлібозаводах.

Втомлювальне зношування частіше всього зустрічається в багатьох видах обладнання при терті коченні, а також у молоткових подрібнювачах.

Абразивне спрацювання зустрічається в обладнанні на цукрових і рибопереробних заводах, де абразивні частки попадають в зону тертя з технологічних рідин, вапна, транспортно-мийної води. При цьому механічна дія цих частинок супроводжується корозійною дією середовища, що спричиняє значну інтенсивність спрацювання. На тютюнових та інших виробництвах висока запарошеність сировини також призводить до появи абразивного зношування.

Найпоширеніше корозійно-механічне зношування. Воно проявляється при експлуатації обладнання на цукрових, молочних, рибо- і м'ясопереробних, хлібопекарних та інших підприємствах. Ерозійне та корозійно-ерозійне спрацювання найбільш інтенсивне у випарних, дифузійних апаратах на цукрових заводах та у відцентрових насосах на багатьох інших виробництвах.

Кавітаційне та кавітаційно-ерозійне зношування зустрічається при експлуатації сепараторів, центрифуг, відцентрових та вихрових насосів, гомогенізаторів, турбін та ін. Хіміко-механічне зношування визначає працездатність машин для виробництва олії, тіста, а також різальних органів м'ясопереробних машин, паперорізальних вузлів пакувальних автоматів і деяких деталей тютюнового обладнання.

Умови контактування деталей у вузлах технологічного обладнання переробних і харчових виробництв і чинники, які визначають їх зносостійкість та довговічність, схематично можна показати так, як на рисунку. Тіло 1 і контртіло 2 відображають пару тертя, тіло 3 – зовнішнє середовище, або шар мастила. Наведені на рисунку комплекси параметрів визначають:  $\sigma$ ,  $H$ ,  $\delta$  – механічні властивості елементів пари тертя;  $R$  – характеристики шорсткості поверхонь деталей;  $p$ ,  $V$ ,  $f$  – умови навантаження і вид тертя (ковзання чи кочення);  $\tau$  – реологічні властивості тіла 3 (шару середовища або мастила);  $Q$ ,  $E$  – хімічну і поверхневу взаємодію (енергію активації) тіл 1 і 2 із зовнішнім середовищем 3;  $T$  – температуру на третьовому контакті. В залежності від наявності тих чи

інших елементів контактної зони, їх властивостей і параметрів взаємодії визначається вид тертя і зношування і напрямки боротьби з ним. Наприклад, при контакті тіл 1 і 2 без тіла 3 реалізується сухе тертя. За відсутності одного з тіл 1 чи 2 можливе кавітаційно-ерозійного зношування. За наявності інтенсивної хімічної взаємодії тіл 1 і 2 з тілом 3 найчастіше спостерігається корозійно-механічне спрацювання.

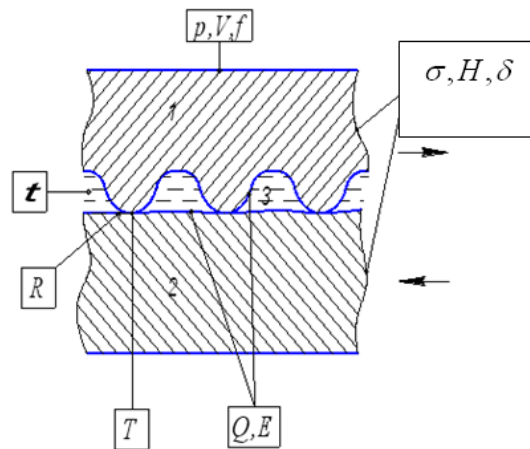


Рис. Умовна схема вузла тертя і діючих параметрів, які впливають на його зносостійкість

Грунтуючись на основних закономірностях зношування і цілеспрямовано впливаючи на умови і параметри контактування деталей, можна уникнути небажаних видів їх спрацювання і значно зменшити його інтенсивність. Наприклад, при розробці і виготовленні автоматів розливу молока на Черкаському ВО "ТЕМП" вдалося майже вдвічі підвищити довговічність кулачкових пар завдяки застосуванню багат шарових мідно-нікелевих покриттів побудованих за принципом позитивного градієнту властивостей (міцність поверхневого шару деталі у напрямку площини ковзання менша за міцність глибинних шарів). Зміною зазначеного параметра можна досягти зменшення об'єму динамічної рівноваги, енергетичної і матеріальної взаємодії елементів контакту, яка саме й забезпечує реалізацію встановленого Б.І. Костецьким явища структурної пристосовуваності [3]. Розмаїття явищ і чинників, які впливають на процеси тертя і зношування, вимагають системного підходу до вирішення проблеми довговічності деталей обладнання. Стосовно обладнання переробних і харчових виробництв основними напрямками вирішення названої проблеми можуть бути: зменшення інтенсивності корозійної взаємодії поверхонь тертя деталей з технологічними середовищами; зміна умов і параметрів навантаження зони контакту, яка б забезпечила реалізацію тільки допустимих видів зношування; підвищення опору спрацюванню деталей обладнання завдяки застосуванню зносо- та корозієстійких покриттів.

Конструктивна розробка деталей і вузлів обладнання з метою забезпечення довговічності і зносостійкості повинна проводитись з урахуванням: раціональної схеми роботи вузлів, їх конфігурації та розмірів з точки зору впливу на зносостійкість; доцільного розрахунку і вибору кінематичних і силових параметрів навантаження елементів контактної взаємодії; раціонального вибору матеріалів для виготовлення деталей з урахуванням впливу на них технологічних середовищ; вибору ефективних видів мастил і систем змащування вузлів тертя, а також захисту їх від попадання з технологічних середовищ абразивних частинок; необхідності застосування ефективної системи відведення тепла від поверхонь тертя; забезпечення технологічності і ремонтпридатності вузлів тертя.

Зміна умов експлуатації вузлів обладнання також може бути ефективною і має на меті вибір раціональних систем змащування та видів мастил, а також ізоляцію зони тертя від контакту з зовнішнім середовищем з метою виключення можливості корозійно-механічного, абразивного та інших небажаних видів спрацювання деталей.

Одним з найбільш універсальних, але не завжди економічних, методів забезпечення високої надійності і довговічності переробного обладнання є використання зносостійких матеріалів для його виготовлення. Вибір матеріалів визначається їх складом, будовою, міцністними, протикорозійними, антифрикційними властивостями, рівнем зносостійкості, технологічними і економічними показниками. У той же час вибір матеріалів для обладнання харчової і переробної промисловості, в більшості випадків, обмежений вуглецевими сталями і чавунами без урахування їх опору спрацюванню. Наприклад, у бурякоцукровій, крохмально-патоковій, бродильній, рибній, соляній та

інших галузях промисловості великогабаритне обладнання (транспортери, місткості, бункери, дифузійні, випарні апарати, мийні агрегати тощо) виготовляють, в основному, з конструкційної вуглецевої сталі звичайної якості, а майже усі насоси для перекачування технологічних рідин – з сірого чавуну. Тобто є значні резерви підвищення надійності і довговічності обладнання у разі застосування більш зносостійких матеріалів та покриттів.

Численні дослідження зносостійкості матеріалів у технологічних середовищах харчових виробництв проведені Г.О. Прейсом, М.А. Сологубом, О.І. Некозом, Ю.Г. Сухенком з співробітниками. На базі цих досліджень розроблені рекомендації по використанню зносостійких матеріалів для конкретних умов роботи переробного і харчового обладнання. Наприклад, встановлено, що в багатьох середовищах бурякоцукрового виробництва (воді, дифузійному соку та ін.) зносостійкість пар тертя "сталь-чавун" значно перевищує стійкість при терті сталі по кольорових металах (бронзі, бабіту). Довговічність важконавантажених підшипникових вузлів переробного обладнання при змащуванні водою з вмістом абразивних часток можна забезпечити завдяки використанню для виготовлення укладок підшипників з деревини та полімерних антифрикційних матеріалів.

При спрацюванні деталей їх довговічність, в основному, визначається показниками контактної міцності, зносостійкості, антифрикційності, корозійної стійкості, тобто властивостями, будовою і зміною їх в процесі зношування тонких поверхневих шарів деталей. Це обумовлює різні вимоги до об'ємних і поверхневих властивостей матеріалу деталей – так названий А.А. Старосельським і Д.Н. Гаркуновим принцип взаємного доповнення якості. Цей принцип займає чільне місце при проектуванні обладнання переробних і харчових виробництв. Адже в умовах безносередньої дії технологічних середовищ висувуються особливі вимоги до складу, будови і властивостей поверхневих шарів деталей. Реалізація принципу взаємного доповнення якості в першу чергу пов'язана з різноманітними технологічними методами нанесення захисних покриттів.

Зносостійкі покриття за типом матеріалу покриття поділяють на металеві, неметалеві, композиційні. За технологічними прийомами нанесення металеві покриття поділяють на металургійні (поверхнєве легування, біметалізація), термодифузійні (однокомпонентні та багатокомпонентні), термонапилені (газополумєневі, плазмові, детонаційні), наплавлювані (електродугові, газополумєневі, СВЧ та ін.); гальванічні, отримані осадженням з газової фази, іонно-плазмові, електроіскрові, комбіновані та ін. До неметалевих покриттів відносяться полімерні та склоемалеві. Наносять їх здебільшого методом занурення, умочування, напилення і обмазування. В обладнанні харчової і переробної промисловості найбільше застосування вони знайшли для підвищення корозійної стійкості в хімічно-активних середовищах.

Композиційні покриття можуть мати металеві і неметалеві складові, і в залежності від їх кількості, їх іноді відносять до металевих або до неметалевих. Для нанесення композиційних покриттів можуть бути використані методи порошкової металургії та різноманітні засоби напилювальної, гальванічної, плазмової та інших технологій [1].

Впровадження захисних покриттів у харчову промисловість має відбуватися не шляхом емпіричного пошуку, а повинно мати науково-експериментальне обґрунтування в залежності від особливостей експлуатації обладнання окремих галузей промисловості. Протягом багатьох років такі дослідження проводяться в НАН України, НУХТ, НУБіП України, КДМТУ та інших організаціях. Накопичений досвід дозволяє стверджувати, що на сучасному етапі найбільш доцільними і ефективними для підвищення довговічності деталей переробного і харчового обладнання можуть бути термодифузійні, газотермічні, гальванічні та електроіскрові покриття.

### Висновки

Належний рівень довговічності обладнання в різних галузях переробних і харчових виробництв може бути забезпечений комплексом конструктивних, технологічних і експлуатаційних заходів. Особливо перспективним напрямком збільшення надійності та ресурсу обладнання є використання захисних покриттів.

1. Сухенко Ю.Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: Підручник / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко; під ред. професора Ю.Г. Сухенка. – К.: НУХТ, 2010. – 547 с.
2. Прейс Г.А. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности / Г.А. Прейс, Н.А. Сологуб, А.И. Некоз. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.
3. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1970. – 395 с.