

УДК 663/664:621.891

*Ю. Г. Сухенко, д-р техн. наук, проф.,
В. Ю. Сухенко, канд. техн. наук, доц.,
Ю. І. Бойко, канд. техн. наук, доц.*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВАЛІВ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ

Національний університет харчових технологій, hamsa@mail.ru

Запропоновано методи підвищення зносостійкості валів відцентрових насосів, які перекачують технологічні середовища цукрових виробництв.

Вступ. Не використаним резервом підвищення зносостійкості валів відцентрових насосів на підприємствах харчової і переробної промисловості є раціональний вибір матеріалів і технологічних методів їх поверхневого зміцнення. Існує велика кількість способів впливу і керування складом, структурою і властивостями поверхневих шарів деталей, але їх широке впровадження у виробництво гальмується через брак наукового обґрунтованих рекомендацій щодо раціонального вибору матеріалів і захисних покриттів залежно від виду зношування, його інтенсивності, характеристик технологічних рідин, які прямо впливають на фізико-хімічні процеси в умовах корозійно-механічного зношування (КМЗ) деталей.

Стан проблеми. У працях [1–5] досліджено вплив нейтральних, лужних і кислих корозійно-активних рідких середовищ на процеси зношування матеріалів і захисних покриттів, пояснено фізичні та механохімічні явища на фрикційному контакті розглянуто способи зниження інтенсивності КМЗ, що дозволило запропонувати визначальні напрями пошуку шляхів підвищення довговічності вузлів тертя, які експлуатуються в специфічних умовах цукрових виробництв. Разом з тим за останній період арсенал методів боротьби за підвищення довговічності деталей поповнився рядом ефективних захисних покриттів, які допомагають кардинально зменшити інтенсивність їх спрацювання.

Найпоширеним видом зношування валів відцентрових насосів для перекачування ставкової, жомпресової і кислої жомової вод, дифузійного і нефільтрованого соків I і II сатурації є корозійно-механічний, а супутнім – абразивний. У разі перекачування транспортерно-мийної води,

фільтрпресового осаду і вапняного молока поширеним видом зношування є абразивний і поверхні валів цих насосів мають розвинутий мікрорельєф з великою кількістю подряпин.

Процеси зношування наведених вище валів (за винятком валів насосів, які перекачують конденсат випарних апаратів) відбуваються за різних співвідношень двох видів спрацювання – корозійно-механічного і абразивного. Інтенсифікація кожного з них призводить до зменшення зносостійкості валів. Так, знос валів насосів ставкової води (порівняно зі зносом валів насосів конденсату) зростає, оскільки ця вода містить тверді домішки та кисень, які інтенсифікують зношування. У транспортерно-мийній воді, фільтрпресовому осаді, вапняному молоці абразивне зношування ще більше зростає через велику кількість абразивних домішок. Збільшення зносу валів у жомовій воді зумовлено, головним чином, інтенсифікацією корозійних процесів. Для підвищення довговічності валів методи газотермічного напилення і електролітичного азотування майже не застосовували. Тому автори вбачали перспективним повернутись до проблеми підвищення зносостійкості валів відцентрових насосів бурякоцукрового виробництва на сучасному науковому рівні. Адже від довговічності сальникових ущільнень залежать продуктивність насосів, втрати напівродуктів і безвідмовність виробництва в цілому.

Мета. Метою роботи є дослідження зносостійкості валів у сальникових ущільненнях відцентрових насосів, вибір матеріалів і захисних покриттів для запобігання їх спрацюванню під дією технологічних середовищ цукрових виробництв.

Методика досліджень. Знос валів оцінювали за допомогою рельєфометра індикаторного типу по довжині сальникового ущільнення у виробничих умовах. Металографічний аналіз поверхонь конструкційних матеріалів і захисних покриттів після тертя в нейтральних, кислих і лужних технологічних середовищах виконували з використанням біологічного МБС-2, металографічного МІМ-8М, електронного УЕМВ-100 мікроскопів.

Зносостійкість матеріалів і захисних покриттів у лабораторних умовах випробовували на установці торцевого тертя [6]. Як зразки використовували конструкційні матеріали і матеріали із захисними покриттями, отриманими методами плазмового напилення, газополуменевої наплавки та електролітичного азотування. Контртіло виготовля-

ли з конопляної набивки, яку застосовують в ущільненнях насосів. Знос зразків оцінювали ваговим способом.

У роботах [6–8] показано, що більшість відцентрових насосів бурякоцукрового виробництва перекачують технологічні середовища з температурою 50–90 °С і працюють при радіальному тиску набивки 0,6–0,8 МПа та швидкості ковзання вала в межах 2,5–5,0 м/с. Тому під час проведення дослідів на установці торцевого тертя тиск на контакт становив 0,7 МПа, а швидкість ковзання – 2,5 м/с. Температура робочих середовищ підтримувалась близькою до 50–60 °С.

Зносостійкість металів і захисних покриттів випробовували в дистильованій воді, яка за своїм складом наближається до конденсату випарних апаратів цукрових заводів, а також у 15%-вому розчині цукрози, кислому буферному розчині (рН 6,5), дифузійному та сатурованому соках. Досліджували зносостійкість нормалізованої і загартованої сталі 45, електролітично азотованої сталі 45Х [9], чавуну СЧ20, а також плазмових покриттів з бронзи БрОЦС-5-5-5, нікель-алюмінієвого сплаву ПН85Ю15, кераміки (плазмотексту ОТЗ та електрокорунду Мн 28) і газополумєневих покриттів зі сплаву ПГ-10П-01 (Ni–Cr–B–Si).

Результати досліджень. Вимірювання зносу близько 100 валів насосів, які перекачують різноманітні середовища цукрових виробництв безпосередньо, на цукрових заводах України після 60–120 діб експлуатації, і дослідження стану їх поверхонь після спрацювання дозволило установити основні закономірності їх зношування.

Дослідження показали, що максимальне спрацювання робочої ділянки вала може бути в кінці сальникової камери, на її початку, або на початку і в кінці камери (рис. 1). Причому найменший добовий знос мають вали, які більше спрацьовуються в кінці (на дні) сальникової камери, а найбільший – на початку камери, де тиск набивки найвищий, а змащування технологічним середовищем недостатнє.

Випробування матеріалів за прийнятою методикою в парі тертя із сальниковою набивкою в лабораторних умовах показали (табл. 1), що в дистильованій воді найбільшу зносостійкість серед традиційних матеріалів має напилена плазмою бронза, а найменшу – сірий чавун СЧ20.



Рис. 1. Розподіл добового зносу валів по довжині сальникового ущільнення відцентрових насосів: 1 – СОР-30 (ставка вода, Денехівський цукровий завод); 2 – Ж-200 (жом з водою, Григорівський цукровий завод); 3 – СОР-100 (дифузійний сік, Саливонківський цукровий завод): ■ – 1; □ – 2; ■ – 3

Після дослідження на поверхні тертя зразка зі сталі 45 були виявлені темні плями оксидів і сліди їх руйнування, які орієнтовані у напрямку вектора швидкості ковзання (рис. 2, а). Колір оксидних плівок змінювався від чорного до світло-сірого, що свідчило про їх різні товщини. Травлення поверхні металу показало, що оксидні темні плівки розміщені здебільшого на ділянках перлітних вкраплень. Електронно-мікроскопічні дослідження виявили смуги зруйнованих оксидів, які орієнтовані в напрямку ковзання (рис. 2, б). Руйнування оксидів відбувалося шляхом видалення невеликих частинок, інколи великих блоків. Зіглед зношених поверхонь зразків із загартованої сталі 45 децю інший (рис. 2, в). Тут на темному полі розсіяні вкраплення світло-сірого та чорного кольорів. З використанням електронного мікроскопа виявлено сліди деформації, перетікання і руйнування оксидних плівок (рис. 2, г).

Поверхня тертя зразків із сірого чавуну була вкрита темними і темно-сірими плівками оксидів, причому темні оксиди розміщені продовж тильного боку графітних вкраплень, які орієнтовані перпендикулярно до вектора швидкості ковзання. Графітні вкраплення виступають над поверхнею на висоту до 100 мкм і тому зношена поверхня вкрита суцільними рифами (рис. 2, д). Поверхня тертя зразка з напленої плазмовим струменем бронзи БрОЦС-5-5-5 вкрита оксидами іншого і темно-червоного кольору (рис. 2, е), а в деяких місцях на поверхні виявлено мідь.

Таблиця 1

Спрацювання металів і захисних покриттів (мг/см) в умовах тертя по пеньковій набивці в нейтральних, кислих та лужних модельних і технологічних середовищах бурякоцукрового виробництва

№ п/п	Модельні або технологічні розчини	Метали та захисні покриття								
		Сталь 45 (нормалізація)	Сталь 45 (гартування)	Чавун СЧ20	Бронза Бр05Ц5С5 (плазмове напилення)	ПГ-10Н-01 (газ, полумене ва наплавка)	ПНБЮ15 (плазмове напилення)	ОТЗ	Мн 28	Сталь 45Х (електролітичне газотування)
1	Дистильована вода	0,275	0,205	0,372	0,025	0,018	0,016	0,018	0,022	0,004
2	15%-вий розчин цукрози в дистильованій воді	0,155	0,170	0,305	0,020	0,015	0,014	0,017	0,021	0,003
3	Кислий буферний розчин (рН 6,5)	1,502	2,225	1,632	0,254	0,028	0,032	0,026	0,028	0,925
4	Дифузійний сік	1,005	0,625	1,18	0,225	0,020	0,022	0,025	0,026	0,532
5	Лужний розчин	0,042	0,030	0,058	0,012	0,004	0,008	0,006	0,003	0,002
6	Сатурований сік	0,033	0,027	0,045	0,010	0,002	0,006	0,004	0,003	0,002

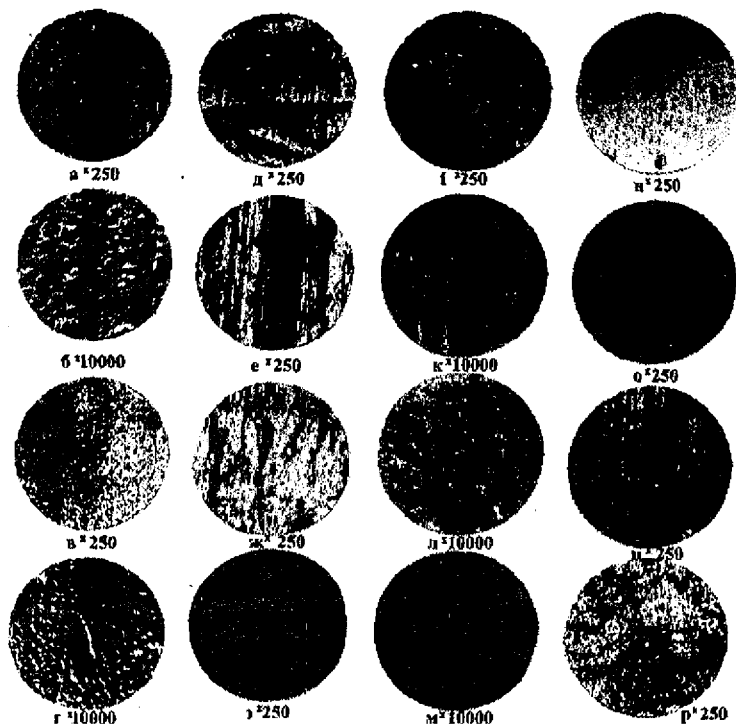


Рис. 2. Поверхні тертя зразків з нормалізованої (а, б, жс, і, к, л, о) і загартованої (в, г, з, л, м, п) сталі 45, сірого чавуну СЧ20 (д) і напиленої плазмозою бронзи Бр ОЦС-5-5-5 (е) після зношування конопляною набивкою в дистильованій воді (а-е), 15%-вому розчині цукрози (жс-з), кислому буферному розчині (і-л), дифузійному соці (н) та лужному розчині (о-р)

При роботі в хімічно-активному середовищі зносостійкість металів залежить від їх антикорозійних властивостей та властивостей вторинних структур, які утворюються на поверхні тертя. Тому зносостійкість нормалізованої сталі 45 у дистильованій воді визначається адгезійною міцністю плівок, які утворені на її перлітній і феритній складових. На перлітних ділянках плівки зношуються погупово з невеликою інтенсивністю, а на феритних вони відриваються від основи. Таким чином, збільшуючи в сталі кількість перлітної складової, можна очікувати підвищення її зносостійкості.

гартована сталь 45 має однорідну мартенситну структуру і підвищені антикорозійні властивості. Унаслідок тертя на ній утворюються більш м'які, ніж основа, оксидні плівки, які перетікають по поверхні тертя без утворення тріщин (рис. 2, з), зношуються і руйнуються поступово, тому ця сталь має вищу зносостійкість, ніж нормалізована.

Сірий чавун корозійно не стійкий, а його металева основа розділена графітними вкрапленнями. Оксидні плівки руйнуються на металевій основі, причому на феритних ділянках цей процес відбувається більш інтенсивно, ніж на перлітних, тому під час експлуатації в дистильованій воді сірий чавун з перлітною основою завжди буде більш стійким.

Велика зносостійкість плазмовонапиленої бронзи зумовлена її високими антикорозійними властивостями і тим, що вторинні структури, які утворюються на її поверхні, мають мало тріщин і міцно зчеплені з основою. Інші газотермічні покриття також мають добрі антикорозійні властивості і їх знос ще менший від зносу напиленої плазмової бронзи (див. табл. 1). Найменший знос характерний для електролітично азотованої сталі 45X.

У розчині цукрози, яка входить до складу більшості технологічних середовищ бурякоцукрових заводів, а також надзвичайно часто трапляється в середовищах інших харчових виробництв, зносостійкість металів і покриттів визначається її інгібувальною дією на метал [1; 10; 11]. Наявність цукрози в розчині значно збільшує зносостійкість майже всіх досліджених металів і металевих покриттів і майже не впливає на зносостійкість керамічних плазмових покриттів (див. табл. 1). Зносостійкість менш корозієстійких матеріалів підвищується більше, ніж металів і покриттів, які мають високі антикорозійні властивості. Цукроза також знижує коефіцієнти тертя досліджуваних матеріалів. Відомо, що цукроза – це надзвичайно слабка багатоосновна кислота з константою електролітичної дисоціації за температури 25 °С, що дорівнює $3 \cdot 10^{-13}$ [12]. Тому можна припустити, що однією з причин уповільнення інтенсивності зношування металів у розчині цукрози є уповільнення електрохімічних процесів, які в умовах тертя та зношування металів часто відіграють визначальну роль [13]. Цукрозі притаманні добрі змащувальні властивості, що дає змогу більше навантажувати пару тертя [10; 14]. На поверхнях тертя після випробувань у цукровому розчині утво-

рюються світліші, ніж у дистильованій воді, захисні плівки (рис. 2, ж, з). Так, на поверхні тертя зразків із сталі 45 нормалізованої (рис. 2, б) і загартованої (рис. 2, в) темних оксидів значно менше, ніж під час випробування цієї ж сталі в дистильованій воді (рис. 2, а, в). Темні оксиди розташовані лише у вигляді плям, а на загартованій сталі також зменшилась їх кількість. Металографічний аналіз поверхонь тертя зразків після випробування у розчині цукрози показав, що їх КМЗ відбувається менш інтенсивно, ніж у процесі тертя в дистильованій воді, тому зносостійкість корозієстійких металів у розчинах цукрози підвищується в середньому на 8–15%, а металів з малою корозійною стійкістю (сердльовуглецевих сталей та чавунів) – на 35–45%.

У кислих середовищах (жомоводяна суміш, кислі жомові та жонопресові води, дифузійний сік у бурякоцукровому виробництві, молочна сироватка, молочна кислота, газувана вода в інших галузях харчової промисловості) з рН 3,5–6,5 значно зростає інтенсивність зношування всіх досліджуваних металів і захисних покриттів. Так, дослідження зносостійкості матеріалів у буферному розчині двоаміщеного фосфорно-кислого натрію і лимонної кислоти в дистильованій воді з рН 6,5 при ерті в парі з конопляною набивкою показали, що найвищу зносостійкість мали нанесені газотермічним напиленням металеві сплави ІГ-10Н-01, ПН85Ю15, а також керамічні покриття з плазмотексту ОТЗ а електрокорунду Мн 28. Серед металів найбільш стійкою виявилась нормалізована сталь 45 і сірий чавун СЧ 20, а менш стійкою була загартована сталь 45. Напилена плазмовим струменем бронза за зносостійкістю займала проміжне місце між чорними металами і нікелевмісними і керамічними газотермічними покриттями. Мала зносостійкість була ритаманна також електролітично азотованим зразкам із сталі 45Х.

Металографічні дослідження поверхонь тертя нормалізованої сталі 45 показали, що вони вкриті темними і темно-сірими оксидними плівками, причому більш темними (товстими) плівками вкриті ділянки перлітною складовою (рис. 2, і). Аналізом стану поверхні тертя на електронному мікроскопі (рис. 2, к) виявлено, що під час тертя нормалізованої сталі 45 по конопляній набивці оксидні плівки на ній руйнуються так, як і в дистильованій воді (рис. 2, б), але мікронерівності на плівках більш плавні та заокруглені. Такий характер руйнування свідчить про те, що під дією кислого середовища відбувається інтенсивне електрохімічне розчинення плівок, яке інтенсифікує зношування. Дослідження зносостійкості зразків із загартованої сталі 45 показало, що її

опір зношуванню набагато менший, ніж нормалізованій сталі 45 (див. табл. 1). На її поверхні тертя виявляються два види руйнування оксидних плівок – з поступовим стиранням плівок (рис. 2, л) і крижке (рис. 2, м). Під час випробувань зразків із сірого чавуну СЧ20 виявилось, що характер руйнування їх поверхонь аналогічний руйнуванню в дистильованій воді (рис. 2, д).

Зменшення зносостійкості металів у кислому буферному розчині зумовлене більшою хімічною активністю середовища та підвищенням ролі механічного чинника процесу через інтенсивне заповнення поверхні набивки продуктами зносу. Тому найпоширенішим видом зношування металів і покриттів в кислих середовищах треба вважати корозійно-механічний. Знос монолітних металів у цих середовищах у 5–8 разів вищий, ніж у дистильованій воді. Максимальна зносостійкість характерна для корозієстійких керамічних плазмових покриттів, а також покриттів на нікелевій основі.

Під час тертя матеріалів у дифузійному соці (рН 6,2–6,4) порядок їх розташування за зносостійкістю подібний до порядку в кислому буферному розчині, але їх знос зменшується на 30–50%. Серед металів найбільшу зносостійкість має загартована сталь 45, а найменшу – сірий чавун СЧ20. Газотермічні покриття з нікелевмісних сплавів і оксидів мають надзвичайно високу зносостійкість, яка істотно перевищує зносостійкість бронзового покриття. Азотування сталевих зразків для роботи в кислих розчинах не дало бажаного результату (див. табл. 1).

Більш висока зносостійкість металів і захисних покриттів у дифузійному соці пояснюється наявністю в ньому цукрози, поверхнево-активних речовин (ПАР), частинок клітковини та домішок дрібнодисперсних абразивних частинок. У цьому середовищі процес тертя набивки по металах і покриттях схожий на процес полірування [15]. Поверхнево-активні речовини на поверхні зразка і набивки міцно зчеплюються між собою і за рахунок цього відбувається зрив оксидних плівок, а тверді частинки обкатують і вигладжують через шар ПАР поверхню металу (рис. 2, н). Значне підвищення зносостійкості загартованої сталі 45 і азотованої сталі 45Х у дифузійному соці (див. табл. 1) зумовлено також дією ПАР, які ефективно розділяють спряжені поверхні, перешкоджають місцевій концентрації напружень, зменшують тангенціальні зусилля, попе-

реджуючи крихке руйнування поверхонь тертя [16]. Тому загартовані сталі можна рекомендувати для виготовлення деталей вузлів гертя, які працюють у дифузійному соці. Ще кращих результатів можна очікувати від використання нікелевмісних і оксидних покриттів. Наприклад, зносостійкість самофлюсованого сплаву ПГ-10Н-01, нанесеного методом газополуменевої наплавки, більша в 30 разів за зносостійкість сталі 45.

Лужні технологічні середовища досить часто використовують у харчових виробництвах (розчини для миття і дезинфекції обладнання, різні соки тощо). На бурякоцукрових заводах це вапняне молоко, суспензія гідроксиду кальцію, сатуровані та сульфатовані соки. Сатурований сік має водневий показник рН 10–11. До його складу, крім сполук кальцію, входить цукроза. Сульфатований сік, який отримують після оброблення сатурованого сірчанним газом, має слабколужну реакцію (рН 7,6–8,0). У ньому немає сполук кальцію і домішок абразивних частинок. Лужне середовище в докладах моделювалось водним розчином оксиду кальцію (рН 11).

Лабораторні випробування показали, що серед монолітних деталей найменш стійким у лужних середовищах є сірий чавун СЧ20, посередині розміщується олов'яниста бронза, а надзвичайно велику стійкість мають газотермічні та азотовмісні покриття. Поверхні майже всіх зразків після випробування були більш світлими з меншою товщиною плівок, ніж у разі випробувань у кислих середовищах (рис. 2, о, н). Знос металів і покриттів у лужному середовищі зменшився в середньому в 5–9 разів, що можна пояснити утворенням на поверхні тертя більш міцних монолітних оксидних плівок, а також пасивувальних плівок з ОН-іонів, які перешкоджають розвитку корозійних процесів. Більш міцні оксидні плівки, утворені на металевих ділянках чавуну СЧ20 (рис. 2, р), зношуються менш інтенсивно, ніж графітні вкраплення і тому рифи на поверхні зразка (рис. 2, д), як це було під час випробувань в дистильованій воді, не утворюються.

Дослідження у фільтрованому соці першої сатурації (сухих речовин – 15%, доброякісність – 90%, рН – 11) показали, що знос всіх зразків дещо зменшився (див. табл. 1), що пояснюється інгібувальною дією цукрози і наявністю ПАР, які пластифікують поверхні тертя і запобігають сколюванню оксидних плівок.

Таким чином, технологічні середовища бурякоцукрового виробництва по-різному впливають на зносостійкість металів і захисних покриттів. Найбільше інтенсифікують зношування кислі технологічні середовища.

Проведені на ряді цукрових заводів дослідження виявили цілянки цукрового виробництва, де вали насосів зношуються найбільш інтенсивно (табл. 2). Установлено, наприклад, що у виробничих умовах знос валів у кислої жомовій воді в 22, а в транспортно-мийній більш ніж в 10 разів вищий, ніж в конденсаті випарних апаратів.

Таблиця 2

Середньодобовий знос I валів відцентрових насосів, їх відносна зносостійкість e і вплив плазмових покриттів на збільшення зносостійкості K

Технологічне середовище	$1 \cdot 10^{-3}$	v , мкм/мкм	Рекомендоване плазмове по- криття	Коефіцієнт збільшення зносостій- кості K
Ставкова вода	15	0,4	ПГ-10Н-01	7,2
Кисла жомова вода	135	0,04	ОТЗ	5,1
Транспортерно-мийна вода	67	0,09	ПГ-10Н-01	5,6
Вапняне молоко	45	0,13	ОТЗ	6,3
Дифузійний сік	33	0,18	ПН85Ю15	3,0 – 5,2
Сік першої сатурації	20	0,3	Мп28	3,1
Конденсат випарних апаратів	6,0	1	ПН85Ю15	9,2

Найбільш поширеним видом зношування валів у сальникових ущільненнях насосів для перекачування ставкової та кислої жомової вод, дифузійного соку першої сатурації є корозійно-механічний, а супутнім – абразивний. В ущільненнях насосів для перекачування транспортно-мийної води та вапняного молока провідним є абразивний, а супутнім – корозійно-механічний знос. Найбільше зношуються вали під дією кислих середовищ і абразивних частинок.

Аналіз результатів виробничих випробувань валів, зміцнених плазмовими покриттями, показує (див. табл. 2), що завдяки їх застосуванню можна підвищити зносостійкість цих деталей у 3 – 9 разів.

За даними цукрових заводів застосування напиленних плазмовою валів дало змогу зменшити втрати напівпродуктів цукрового виробництва в 2 – 5 разів.

Висновки. Проведені дослідження показали, що для кожного технологічного середовища цукрового виробництва треба підбирати свій матеріал і захисне покриття, яким притаманний достатній опір зношуванню. Перспективними для підвищення довговічності валів у сальникових ущільненнях відцентрових насосів можуть бути газотермічні та електролітичні покриття.

Для підтвердження даних лабораторних досліджень потрібно провести всебічні випробування зміцнених валів у виробничих умовах на ділянках цукрового виробництва, де застосовують різноманітні за складом технологічні середовища.

Список літератури

1. *Прейс Г.А., Сологуб Н.А., Некоз А.И.* Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.
2. *Портер А.И.* Исследование влияния коррозионно-активных сред на процессы трения и изнашивания: Автореф. дис... канд. техн. наук: – К., 1980. – 27 с.
3. *Роменский Н.П.* Разработка и исследование металлизационно-полимерных покрытий для защиты от коррозионно-механического изнашивания диффузионных аппаратов сахарных заводов: Автореф. дис... канд. техн. наук: – К., 1981. – 22 с.
4. *Смертяк Ю.Л.* Исследование долговечности сальниковых уплотнений центробежных насосов свеклосахарных заводов: Автореф. дис... канд. техн. наук: – К., 1969. – 30 с.
5. *Захист від корозії устаткування цукрових заводів / В.К.Супрунчук, І.Д.Вдовенко, Л.П. Канченко та ін.* – К.: Техніка, 1972. – 241 с.
6. *Сухенко Ю.Г., Некоз О.І., Стечишин М.С.* Технологічні методи забезпечення довговічності обладнання харчової промисловості. – К.: Елерон, 1993. – 107 с.
7. *Сологуб Н.А., Сухенко Ю.Г., Малыгин А.И., Мотяков С.А.* Повышение износостойкости некоторых деталей оборудования сахарных заводов /Тр. Респуб. научн-техн. конф. «Интенсификация технологий и совершенствование оборудования перерабатывающих отраслей АПК». – К.: КТИП, 1989. – 251 с.

8. *Сологуб Н.А.* Повышение долговечности трущихся деталей технологического оборудования сахарных заводов/Автореф. дис.... канд. техн. наук: – К.: КТИШП, 1964. – 27 с.
9. *А.с. 1259689* Способ азотирования стальных деталей / В.Ф. Павленко, А.Н. Озерянский, В.О. Мовчан и Ю.Г. Сухенко. – Заявл. 11.01.85.
10. *Сухенко Ю.Г.* Корозійна стійкість газотермічних покриттів на деталях харчового обладнання // Харчова промисловість. – К.: УДУХТ. – 1988. – Вип.43–44. – С.197–199.
11. *Прейс Г.А., Сологуб Н.А.* Повышение износостойкости деталей оборудования сахарных заводов. – К.: Техніка, 1966. – 138 с.
12. *Силин П.М.* Технология свеклосахарного и рафинадного производства. – М.: Пищепромиздат, 1958. – 120 с.
13. *Интенсификация процессов и защита оборудования пищевых производств/ Г.П. Тищенко, Н.Д. Хоменко, В.Ю. Сухенко и др.* – К.: ТОВ «ДІЯ», 2006. – 224 с.
14. *Сологуб Н.А., Штефан Б.П.* О роли сахарозы в процессах трения и изнашивания. – В сб.: Повышение износостойкости и срока службы оборудования пищевой промышленности. – М.: ДНИИТЭЛегнищемаш, 1968. – С. 45–48.
15. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.– 480 с.
16. *Колесниченко Л.Ф.* Изменение структуры поверхностного слоя металлов при трении в связи с действием смазочных сред / Автореф. дис.... канд. техн. наук. – К., 1963 – 30 с.