

Аулін В.В., Тихий А.А.

**ТРИБОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ
ЗНОСОСТІЙКОСТІ І НАДІЙНОСТІ
РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ
МАШИН З РІЗАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

Монографія

За редакцією професора Ауліна В.В.

Кропивницький
Видавець Лисенко В.Ф.
2017

УДК 621.891:631.31
ББК 40.722
А 93

Друкується згідно рішення вченої ради Кіровоградського національного технічного університету, протокол № 8 від 20.04.2016 р.

Рецензенти:

Сорокати Р.А. – д.т.н., проф., завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Хмельницький національний університет;

Савуляк В.І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості, Вінницький національний технічний університет;

Козаченко О.В. – д.т.н., проф., завідувач кафедри технічного сервісу, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

Аулін В.В., Тихий А.А.

A93

Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: Монографія / В.В. Аулін, А.А. Тихий; за ред. проф. В.В.Ауліна. – Кіровоград: видавництво Лисенко В.Ф., 2017. – 279 с.

ISBN 978-617-7197-60-6

В монографії розроблено методологію розв'язання проблеми підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин (РОГМ) з різальними елементами. Наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень процесів і станів в триботехнічній системі "РОГМ - ґрунт", дано трибофізичне обґрунтування закономірностей зміни характеристик і властивостей елементів цієї системи, наведені фізичні та математичні моделі. Основна увага зосереджена на зміні характеристик і властивостей приповерхневих шарів ґрунту і поверхневих шарів матеріалів РОГМ. З'ясовано вплив способів зміцнення на триботехнічні характеристики робочих поверхонь РОГМ. Виявлені можливості управління процесами зміцнення РОГМ та підвищення їх надійності. Запропоновано автоматичне та синергетичне керування процесами і станом в трибосистемах "РОГМ ґрунт", запропоновані схеми реалізації.

Видання призначене науковим та інженерно-технічним співробітникам, які здійснюють дослідження питань проектування, експлуатації та керування триботехнічними системами "РОГМ-ґрунт", буде корисним викладачам, аспірантам, магістрам і студентам машинобудівельних, агротехнічних та транспортних ВНЗ.

ББК 40.722

ISBN 978-617-7197-60-6

© Аулін В.В., Тихий А.А., 2017
© Кіровоградський національний
технічний університет, 2017
© Видаєник Лисенко В.Ф., 2017

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН З РІЗАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	10
1.1 Аналіз умов роботи та основних видів тертя та зношування робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами.....	11
1.1.1 Загальна характеристика поверхонь тертя деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки та різних видів їх зношування..	11
1.1.2 Аналіз умов роботи РОГМ.....	
1.2 Аналіз природи та механізму процесів тертя та зношування РЕ РОГМ.....	17
1.2.1 Система поглядів на природу та механізм процесів тертя та зношування деталей і РОГМ в абразивному середовищі ґрунту.....	17
1.2.2 Система поглядів на природу та механізм процесів тертя та зношування деталей і РОГМ, зміцнених КМ (КП).....	20
1.3 Види та характер зношування робочих органів ґрунтообробних машин.....	35
1.4 Основні концептуальні підходи дослідження природи, механізму закономірностей процесів тертя та зношування і реалізації процесів і станів самоорганізації.....	28
1.5 Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей і РОГМ.....	37
1.5.1 Методи підвищення зносостійкості поверхонь деталей і РОГМ композиційними матеріалами і покриттями.....	37
1.5.2 Методи підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами.....	42
Висновки по розділу 1	46
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ	
2.1 Характеристики та властивості ґрунту як робочого середовища.....	50
2.2 Аналіз змін характеристик та властивостей ґрунту як елемента триботехнічної системи "РОГМ-ґрунт".....	59
2.3 Вплив фазового складу ґрунту на його зношувану здатність та інтенсивність зношування РОГМ.....	60
2.4 Вплив зміни стану і властивостей ґрунту під час взаємодії з РОГМ на триботехнічні характеристики робочих поверхонь і тяговий опір.....	63
Висновки по розділу 2	67
РОЗДІЛ 3 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ "РОГМ-ҐРУНТ" І РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І НАДІЙНОСТІ РОГМ	

3.1 Обґрунтування методологічних положень розв'язання проблеми підвищення зносостійкості РОГМ.....	68
3.2 Структура та методи теоретичних досліджень процесів і станів триботехнічних систем та розв'язання проблеми підвищення їх зносостійкості.....	81
3.2.1 Трибофізичне обґрунтування еволюції процесів і станів триботехнічних систем з реалізацією ефекту самоорганізації та можливостей підвищення їх зносостійкості.....	81
3.2.2 Трибофізичне обґрунтування підвищення зносостійкості РОГМ зміцненням КМ (КП) та модифікуванням лазерними технологіями.....	82
3.2.3 Теоретичні дослідження закономірностей взаємодії, динаміки та механізму тертя та зношування і можливостей підвищення зносостійкості в триботехнічній системі "РОГМ-грунт".....	83
3.2.4 Фізико-технологічне обґрунтування зміцнення РОГМ та принципів керування їх зносостійкістю.....	84
3.3 Устаткування, методи та методики формування і дослідження зміцнених поверхневих шарів РОГМ.....	85
3.3.1 Устаткування та методи формування шару КМ (КП) і термозміцнення РОГМ.....	85
3.3.2 Методика дослідження складу, структури та властивостей зміцнених шарів на зразках і РОГМ.....	86
3.3.3 Методика дослідження напружено-деформованого стану зразків і РОГМ.....	88
3.4 Структура, методи та методики експериментальних досліджень триботехнічної системи "РОГМ-грунт".....	88
3.4.1 Основні задачі експериментальних досліджень ТТС "РОГМ-грунт".....	88
3.4.2 Імітаційна лабораторна установка та методика дослідження взаємодії потоків середовища ґрунту з РЕ РОГМ.....	89
3.4.3 Лабораторна установка для дослідження зношувальної здатності ґрунтів та зносостійкості зразків РЕ РОГМ.....	89
3.4.4 Дослідження абразивного зношування зразків на машині тертя....	91
3.4.5 Круговий стенд для випробувань на зношування зразків та РОГМ.	91
3.4.6 Методика стендових та експлуатаційних випробувань зразків РЕ і деталей РОГМ.....	92
3.4.7 Методи та методики визначення основних характеристик та властивостей середовища ґрунту.....	94
3.4.8 Установка та методика визначення напруження в середовищі ґрунту при дії на нього РОГМ.....	95
3.4.9 Методика визначення енергетичних характеристик взаємодії в ТТС "РОГМ-грунт".....	96
Висновки по розділу 3.....	97
РОЗДІЛ 4 ТРИБОФІЗИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВЗАЄМОДІЇ, МЕХАНІЗМУ ТЕРТЯ ТА	

ЗНОШУВАННЯ В СИСТЕМІ "РОГМ-ГРУНТ" І ВИЯВЛЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ

4.1 Закономірності взаємодії елементів в триботехнічній системі "РОГМ-грунт" та зміна їх стану.....	98
4.1.1 Функціональна та фізична моделі взаємодії РОГМ з ґрунтом.....	98
4.1.2 Напружений стан середовища ґрунту під час взаємодії з РОГМ....	100
4.1.3 Трибофізичне обґрунтування процесів деформації і руйнування ґрунту.....	103
4.1.4 Реологічний підхід до НДС ґрунту під час взаємодії з РОГМ.....	106
4.1.5 Модель взаємодії РОГМ з гетерофазним середовищем ґрунту.....	107
4.1.6 Зміна напружено-деформованого стану РОГМ в процесі зношування.....	109
4.2 Трибофізичне обґрунтування змін характеристик та властивостей ґрунту як елемента триботехнічної системи "РОГМ-грунт".....	111
4.2.1 Процеси, що відбуваються у ґрунті під час дії РОГМ.....	111
4.2.2 Зношувальна здатність ґрунту.....	113
4.3 Динаміка зношування горизонтально та вертикально розміщених РЕ РОГМ.....	115
4.3.1 Закономірності огинання потоками ґрунту РЕ РОГМ.....	115
4.3.2 Зв'язок процесу зношування з різальною здатністю РЕ РОГМ.....	118
4.3.3 Стохастична модель динаміки зношування РОГМ в середовищі ґрунту.....	120
4.3.4 Розподіл зносу по довжині горизонтально та вертикально розміщених РЕ РОГМ.....	123
4.4 Динаміка зміни профілю горизонтально та вертикально розміщених РЕ РОГМ та обґрунтування умов їх самозагострювання.....	127
4.4.1 Динаміка зміни профілю РЕ РОГМ.....	127
4.4.2 Обґрунтування умов самозагострювання РЕ РОГМ.....	129
Висновки по розділу 4.....	130
РОЗДІЛ 5 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ХАРАКТЕРИСТИК І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОСИСТЕМИ "РОГМ-ГРУНТ"	135
5.1 Напружено - деформований стан трибосистеми "РОГМ-ГРУНТ".....	135
5.1.1 Напружено - деформований стан ґрунту під час взаємодії з односторонньою лапою та щілинорізом.....	135
5.1.2 Поле напружень на зразках та різальних елементах РОГМ.....	140
5.1.3 Напружено - деформований стан РОГМ під час взаємодії з ґрунтовим середовищем.....	144
5.2 Вибір раціональних режимів і умов лазерної обробки РЕ РОГМ.....	146
5.3 Структура та склад зміцнених шарів.....	148
5.4 Властивості шарів, зміцнених лазерним випромінюванням.....	155
5.5 Властивості зміцнених поверхневих шарів зразків запропонованими способами.....	158

5.6 Триботехнічні характеристики робочих поверхонь зразків РЕ РОГМ	160
5.7 Абразивна зносостійкість зміцнених зразків.....	165
5.8 Величина і характер зносу різальних елементів та результати спостереження ефекту самозагострювання РЕ.....	168
5.9 Величина і характер зношування та динаміка зміни профілів зразків РЕ та РОГМ з РЕ при їх випробуванні на круговому стенді.....	172
5.9.1 Зв'язок зносу РЕ РОГМ з величиною напруження ґрунту.....	172
5.9.2 Впливу гумусу на зношувальні властивості ґрунту та РЕ РОГМ...	172
5.9.3 Вплив пористості ґрунту на знос РЕ РОГМ на круговому стенді.	176
5.9.4 Вплив вологості ґрунту на знос РЕ РОГМ на круговому стенді.....	177
5.9.5 Закономірності зміни параметрів профілю РЕ РОГМ від товщини шару зміцненого різними способами.....	183
5.9.6 Вплив варіанту зміцнення робочих поверхонь РЕ РОГМ на закономірність їх зношування та зміну параметрів формозміни профілю в середовищі ґрунту.....	184
5.9.7 Величина і характер зношування зміцнених односторонніх лап і щілинорізів при стендових випробуваннях.....	188
Висновки по розділу 5.....	193
РОЗДІЛ 6 ВІЯВЛЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН	196
6.1 Фізико-технологічне обґрунтування функціонально-спрямованого зміцнення РОГМ та технологічні схеми його реалізації.....	196
6.2 Методологія техніко-економічної оцінки при виборі раціональних способів зміцнення РОГМ та розробка рекомендацій виробнику і споживачу.....	207
6.3 Типи зв'язку триботехнічних систем із зовнішнім середовищем та можливість авторегулювання та керування ними в процесі функціонування.....	209
6.4 Принципи автоматичного та синергетичного керування процесами і станами в триботехнічних системах.....	214
6.5 Схеми реалізації автоматичного керування зміцненням РОГМ.....	216
Висновки по розділу 6.....	225
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	227

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АЗ – абразивне зношування
АК – автоматичне керування
АСК – автоматична система керування
АЧ – абразивна частинка
ВЗ – вибіркове зношування
ВЗЗ – від'ємний зворотній зв'язок
ВП – вибіркове перенесення
ВС – вторинні структури
ДЗ – динамічний зв'язок
ДЗЗ – додатний зворотній зв'язок
ДН – діапазон нормалізації
ДС – дисипативні структури
КМ – композиційний матеріал
КП – композиційне покриття
КПЕ – концентровані потоки енергії
ЛВ – лазерне випромінювання
ЛО – лазерна обробка
МП – магнітне поле
НДС – напружено-деформований стан
НОТ – нормально-окислювальне тертя
ПК – персональний комп'ютер
ПНД – принцип найменшої дії
ПШ – поверхневий шар
РЕ – різальний елемент
РО – робочий орган
РОГМ – робочий орган ґрунтообробних машин
САР – система автоматичного регулювання
СВЧ – струм високої частоти
СГТ – сільськогосподарська техніка
СТЗ – статистичний зв'язок
ТЕ – трибо елемент
ТС - трибосистема
ТТВ – технологія триботехнічного відновлення
ТТС – триботехнічна система
ФП – фазовий перехід
ФП-1 – фазовий перехід I роду
ФП-2 – фазовий перехід II роду
ФПМ – фрикційна полімеризація
ФТТ – фізика твердого тіла
ХТО – хіміко-термічна обробка

ВСТУП

Робочі органи ґрунтообробних машин (РОГМ) працюють в складних умовах знакозмінного циклічного та динамічного навантаження, підвищеної запиленості, взаємодії з активними та агресивними робочими (технологічними) середовищами, а тому не виробляють запланованого ресурсу і 80...90% обсягу їх відмов спричиняють процеси тертя та зношування.

Одним з головних напрямків підвищення надійності робочих органів ґрунтообробних машин (РОГМ) є вивчення закономірностей тертя і зношування під час їх взаємодії з ґрунтом. Особливо це стосується РОГМ з різальними елементами (РЕ).

Внаслідок спрацювання РЕ в процесі тертя і зношування знижуються триботехнічні характеристики робочих поверхонь РОГМ підвищується їх тяговий опір, що призводить до збільшення витрат паливно-мастильних матеріалів, й обумовлює додаткове загострювання РЕ, заміну зношених деталей або їх відновлення.

Насьогодні питання керування зносостійкістю РОГМ здійснюється в основному підвищенням фізико-механічних властивостей поверхонь тертя методами зміцнення та зміною геометричної форми РЕ, але недостатньо розглянуті питання керування процесами зношування РОГМ під час взаємодії з ґрунтом, як гетерофазним середовищем та зміні його властивостей і стану. Це передусім стосується зношувальної здатності середовища ґрунту і впливу її на триботехнічні характеристики РЕ РОГМ, а також врахування механічного та фазового складу, щільності, вологості та напружено-деформованого стану (НДС) ґрунту.

Дослідження, направлені на підвищення зносостійкості, керування процесами зношування та опором переміщенню РОГМ та формою РЕ, виходячи із їх взаємодії з ґрунтом, зміни стану поверхневих шарів РОГМ та НДС приповерхневого шару ґрунту, керування формою РЕ є безумовно актуальними і важливими для теорії і практики тертя та зношування. Це дасть можливість обрати ефективні технології зміцнення робочих поверхонь РОГМ щоб цілеспрямовано впливати на зміну властивостей і НДС ґрунту та створити умови реалізації ефекту самозагострювання РЕ й значно зменшити тяговий опір РОГМ. Виявлені закономірності зношування РОГМ можна використати і при удосконаленні технологій обробітку ґрунту.

Разом з тим природа, специфіка та механізм протікання процесів і формування станів приповерхневих шарів ґрунту і поверхневих шарів матеріалу РОГМ на сьогодні недостатньо досліджені як з теоретичної, так і експериментальної точок зору, остаточно не з'ясовано їх трибо-фізичні основи підвищення зносостійкості і надійності РОГМ з РЕ.

В монографії дано аналіз стану проблеми підвищення їх зносостійкості і надійності. З'ясовано умови роботи та основні види та характер протікання процесів тертя та зношування РОГМ в ґрунті. Виявлені концептуальні підходи дослідження природи, механізму закономірностей процесів тертя та зношування і реалізації процесів і станів самоорганізації. Проведений аналіз методів підвищення зносостійкості РОГМ з РЕ при конструюванні, виготовленні та

експлуатації. Наведені результати досліджень характеристик стану і властивостей ґрунту як гетерофазного середовища і елемента триботехнічної системи "РОГМ-ґрунт". Виявлено вплив фазового складу на зношувальну здатність та інтенсивність зношування РОГМ, вплив зміни стану і властивостей ґрунту під час взаємодії з РОГМ на триботехнічні характеристики робочих поверхонь і тяговий опір. Розроблено методологію дослідження закономірностей взаємодії в системі "РОГМ-ґрунт" і розв'язання проблеми підвищення зносостійкості і надійності РОГМ. Наведено структуру та методи теоретичних та експериментальних досліджень процесів і станів в приповерхневих шарах ґрунту та поверхневих шарах матеріалів РОГМ в системі "РОГМ-ґрунт".

Для досліджень вибрано і виготовлено устаткування та розроблені методики формування і дослідження зміцнення поверхневих шарів РОГМ.

Дано трибофізичне обґрунтування закономірностей взаємодії, механізму тертя та зношування в системі "РОГМ-ґрунт" і виявлені можливості підвищення її зносостійкості та надійності. Визначено напружено-деформований стан середовища ґрунту під час взаємодії з РОГМ, обґрунтовано процеси руйнування ґрунту. Запропоновано модель взаємодії РОГМ з гетерофазним середовищем. З точки зору трибофізики обґрунтовано зміни характеристик та властивостей ґрунту як елемента триботехнічної системи "РОГМ-ґрунт", з'ясовано зношувальну здатність та самоорганізацію ґрунту. Наведено результати стендових випробувань горизонтально та вертикально розміщених РЕ РОГМ.

Визначено зв'язок процесу зношування РЕ РОГМ з його різальною здатністю. Запропоновано стохастичну модель динаміки зношування РОГМ. Виявлено вибірковий характер зношування по робочій поверхні РОГМ. Встановлено розподіл зносу по довжині горизонтально та вертикально розміщених РЕ РОГМ та обґрунтовано умови їх самозагострювання.

Наведено результати експериментальних досліджень характеристик і властивостей елементів трибосистеми "РОГМ –ґрунт". Здійснено вибір раціональних режимів і умов лазерної обробки РЕ РОГМ, досліджено структуру та склад зміцнених шарів. Досліджені також способи індукційної обробки, електродугового наплавлення Т-590 та газополуменевого наплавлення ПГ-10Н-01 та триботехнічні характеристики робочих поверхонь зразків РЕ РОГМ зміцнених зазначеними способами, виявлені закономірності зміни параметрів профілю РЕ РОГМ від технологічних параметрів зміцнення. В монографії виявлені можливості керування процесами зміцнення матеріалів РОГМ, дано фізико-технічне обґрунтування функціонально-спрямованого зміцнення РОГМ та запропоновані основні технологічні схеми його реалізації.

Розроблено методологію техніко-економічної оцінки при виборі раціональних способів зміцнення РОГМ та рекомендації виробнику і споживачу. На основі типів зв'язку трибо технічних систем із зовнішнім середовищем з'ясована можливість авторегулювання та керування ними в процесі функціонування. Розглянуто також автоматичне та синергетичне керування процесами і станами в трибосистемах "РОГМ-ґрунт" і схеми їх реалізації.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН З РІЗАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

1.1 Аналіз умов роботи та основних видів тертя та зношування робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами

1.1.1 Загальна характеристика поверхонь тертя деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки та різних видів їх зношування.

В залежності від призначення та умов експлуатації поверхні деталей і робочих органів (РО) сільськогосподарської техніки (СГТ) по-різному беруть участь в процесах тертя та зношування, а тому їх матеріали мають широкий спектр характеристик і властивостей [1, 2]. За сприйняттям енергетичного потоку в процесі експлуатації поверхні деталей машин [2, 3] розрізняються за наступними видами: локальні плями контактів спряжень деталей безперервно змінюються за конфігурацією та властивостями і через контакти передається енергія; спостерігається сумарний результат елементарних актів взаємодії з робочим (технологічним) середовищем і передача енергії; одночасно поєднуються попередні їх види. Робочі поверхні деталей СГТ, в основному, відносяться до першого і третього виду, а поверхні робочих органів ґрунтообробних машин (РОГМ) – до другого. На характер розподілу зносу по поверхні тертя істотний вплив здійснює конструктивна схема спряження деталей СГТ [1, 4], яка залежно від взаємного положення деталей, може бути поділена на два типи (рис. 1.1):

– спряжені поверхні не зношуються або мало зношуються, а їх зближення забезпечується тільки в заданому напрямку;

– наявна можливість самовстановлення спряжених деталей, а їх взаємне положення залежить від форми зношених поверхонь.

Крім цього виділяється дві категорії трибоспряжень деталей СГТ: категорія *A* – знос відбувається у визначених і категорія *B* – у невизначених умовах. Залежно від постійності умов тертя і зношування в локальних областях (точках) спряжених поверхонь, розташованих на одній траєкторії, з урахуванням коефіцієнта перекриття $K_{\text{кр}}$ і шляху тертя [5, 6], можна виділити п'ять груп трибоспряжень (рис. 1.1): постійні умови зношування мають обидві деталі; постійні умови зношування має одна деталь; непостійні умови зношування нижчих трибоспряжень (кулісні механізми, напрямні); непостійні умови зношування вищих трибоспряжень (кулачкові механізми, підшипники кочення); деталі та РО, що контактують з робочим (технологічним) середовищем.

Приналежність спряжень деталей до того або іншого виду, типу, категорії і групи дозволяє вибрати або розробити методіку досліджень триботехнічних характеристик, провести оптимізацію їх робочих поверхонь, здійснити раціональний вибір методу або способу підвищення зносостійкості [5, 7].

Категорії	Групи	Тип спряження деталей	
Спряження деталей		<i>I</i>	<i>II</i>
A	1		
	2		
B	3		
	4		
	5		

Рисунок 1.1 – Класифікація спряжень деталей за умовами зношування

При оцінці триботехнічних характеристик деталей і РОГМ враховують епюри навантаження і зносу, а також геометричну форму зношених робочих поверхонь [1, 4]. Епюра навантаження дозволяє намітити шляхи підвищення зносостійкості за рахунок зменшення питомих навантажень, а епюра зносу – є основною характеристикою працездатності деталей при оцінці гранично-допустимого зносу і терміну їх служби. Геометрична форма спрацьованої робочої поверхні визначає працездатність і методи компенсації зносу деталей, вибір технологій їх зміцнення, модифікування та відновлення. При терті та зношуванні для деталей, крім геометричних параметрів, важливим є їх матеріал, структура та комплекс їх властивостей. Зазначимо, що деталі і РОГМ переважно виготовляють з середньовуглецевих та низьколегованих сталей, які піддають термічній обробці (ТО), поверхневому гартуванню СВЧ, цементації з подальшим гартуванням тощо [8]. Істотними є також фактори, що впливають на локальний характер зношування спряжених поверхонь, оскільки для усунення цієї нерівномірності слід застосовувати диференціальний підхід до їх зміцнення [9, 10]. Аналізом досліджень зносостійкості та надійності СГТ виявлено, що зношування є основною причиною втрати працездатності і відмов ресурсовизначальних деталей і РО. Цими питаннями займалися вчені М.М. Хрущов, М.А. Бабичев, В.М. Ткачов, А.Ш. Рабінович, А.Н. Розенбаум, Б.І. Костецький, М.М. Тененбаум, М.М. Севернев, В.В. Аулін, В.А. Войтов, В.І. Дворук, А.І. Бойко, О.В. Козаченко, В.І. Савуляк, С.А. Сидоров, Р.І. Влац, J.M. Georges, I.S. Sheasby та ін.

Дані про абсолютні значення зносу різних деталей і РОГМ за лінійними розмірами та втратами ваги [7, 8, 11] свідчать, що у групі деталей нерухомих спряжень втрати ваги через зношування складають 0,01%, а розміру – 0,08%. У групі деталей рухомих спряжень, які працюють за схемою "вал-втулка", втрата ваги складає 0,75%, а розміру – 0,95%. Деталі рухомих спряжень "вал (циліндричні стрижні та осі)-підшипник ковзання", мають середній знос, що відповідно не перевищує 0,15 мм та 0,13 мм. Зі всієї сукупності робочих поверхонь валів СГТ 46% зношуються до 0,3 мм; 27% – від 0,3 до 0,6 мм; 19% – від 0,6 до 1,2 мм і 8% – більше 1,2 мм. За аналізом спрацювання деталей СГТ [7, 8, 11], виявлено, що з них найбільшу кількість (понад 80%) мають знос до 0,6 мм. Особливо велика частка зносу припадає на РОГМ, що приводить до зниження якості технологічних процесів обробітку ґрунту.

Існують різні класифікації видів зношування деталей СГТ [2, 7, 12, 13]. Відповідно до ДСТУ 2823-94, в загальному випадку зношування деталей підрозділяється на види: механічне, абразивне, гідроабразивне, гідроерозійне, кавітаційне, утомне, фретингове, адгезійне, механохімічне, окислювальне, фретинг-корозійне, електроерозійне. За результатами експериментальних даних [7, 14] для деталей СГТ частки механічного зношування, зношування при заїданні і корозійно-механічного зношування відповідно становлять: 42,8%; 22,5% і 35,7%, а величина лінійного зносу коливається у межах 0,01...4,00 мм.

Найбільш прийнятною для деталей і РОГМ, на наш погляд з точки зору трибології, трибофізики і триботехніки є наступна класифікація видів зношування [2, 7, 15, 16, 17]: абразивний, адгезійний, втомний та корозійний. Ці види

зношування обумовлені передусім процесами взаємодії і руйнування, зміною напружено-деформованого стану (НДС) матеріалів деталей СГТ та робочого (технологічного) середовища, їх характеристик та властивостей. Абразивне зношування (АЗ) визначається процесами безпосередньої взаємодії деталей та РО з твердими абразивними частинками (АЧ). Адгезійне зношування пов'язане з послідовним утворенням і руйнуванням фрикційних зв'язків на поверхнях деталей і РО та супроводжується руйнуванням їх матеріалу. При втомному зношуванні утворюються мікротріщини зі сколюванням частинок з робочої поверхні, схильної до знакозмінних напружень і деформацій. Корозійне зношування відбувається переважно під впливом хімічно-активних складових робочого (технологічного) та зовнішнього середовища.

Деталі і РОГМ можуть втрачати працездатність внаслідок прояву одного або сукупності перерахованих видів зношування під впливом цілого комплексу фізичних явищ, що виникають в поверхневих шарах матеріалів. Зазначимо, що характер їх зношування, стан робочих поверхонь залежать від переважання тих або інших умов експлуатації [2, 8, 10].

Стан поверхні тертя для різних видів зношування показано на рис. 1.2. Можна бачити, що на поверхні тертя при мікрорізанні АЗ з'являються частинки зносу у вигляді стружки (рис. 1.2, а), та мають місце борозни у напрямі руху (рис. 1.2, б,в). При утворенні втомних мікротріщин з'являються сферичні частинки зношеного матеріалу (рис. 1.2, г), а утомне викришування обумовлює появу пластівчастої їх форми та мікровиразок на поверхнях тертя (рис. 1.2, д, є).

При корозійному зношуванні спостерігаються частинки розміром до 2 мкм (рис. 1.2, ж).

Визначені види зношування можна поділити на підвиди. Наприклад, для найбільш спостережуваного в СГТ АЗ розрізняють [18, 19, 20]: зношування жорстко закріпленим абразивом; нежорстко закріпленими (вільними) АЧ, гідро- або газоабразивне зношування; зношування при наявності АЧ у контакті поверхонь тертя; ударно-абразивне зношування. При дії АЧ на робочі поверхні матеріалу деталей можливі різні форми деформації: пружне деформування, пластичне відтискування і різання або викришування поверхні. На процес АЗ може впливати природа АЧ, агресивність середовища, властивості зношуваних поверхонь, ударна взаємодія та інші фактори. Загальним для АЗ є механічний характер руйнування поверхні [7, 20, 21, 22]. Інші види зношування потребують ретельних експериментальних і теоретичних досліджень.



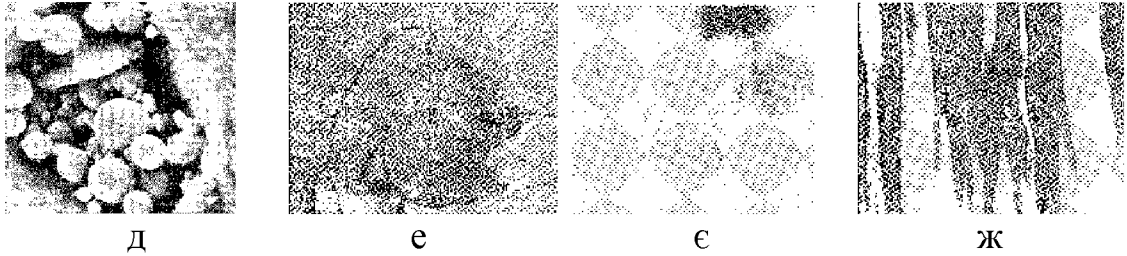


Рисунок 1.2 – Стан поверхонь деталей СГТ при різних видів зношування: а – мікрорізання, б,в–задири; г–мікротріщини; д,е,є–утомне викришування; ж–корозія, ×500

На процеси тертя та зношування під час експлуатації впливає і вид знеміцнення матеріалу деталей і РОГМ: механічне, теплове, адсорбційне і хімічне [5, 20, 23, 24]. Механічне знеміцнення відбувається в результаті деформації поверхневого шару, виникненні та розвитку дефектів структури, викришування складових матеріалу, підвищення внутрішніх напружень. Теплове знеміцнення обумовлює дія тепла, що генерується при терті. Адсорбційне знеміцнення є результатом фізичної взаємодії матеріалу з поверхневою-активною речовиною (ПАР), що викликає зниження твердості. Хімічне знеміцнення характеризується утворенням продуктів хімічної взаємодії матеріалу, що зношується із робочим (технологічним) та зовнішнім середовищами або протіканням внутрішніх хімічних і механо-хімічних процесів. У реальних умовах тертя можливий прояв різних видів знеміцнення.

1.1.2 Аналіз умов роботи РОГМ

В сільськогосподарському виробництві (СГВ) обробіток ґрунту виконують РОГМ: леміши плугів, стрілчасті та односторонні лапи культиватора, різні конструкції сошників, диски борін, диски луцильника, розпушувачі та ін. [4]. В середовищі ґрунту РОГМ підлягають інтенсивному АЗ [18, 19, 25]. Типовими представниками РОГМ з різальними елементами (РЕ) є лапи культиваторів, призначені для розпушування ґрунту, знищення бур'янів і перемішування частинок ґрунту. Їх форма (рис. 1.3) залежить від виду і типу оброблюваної культури, стадії її розвитку і стану ґрунту, а основні параметри обумовлені ДСТУ 7328:2013 та ДСТУ 7329:2013.

Для найбільш розповсюджених культиваторів КПС-4 використовують стрілчастої лапи шириною захвату $B = 270$ і 330 мм і товщиною 5 або 6 мм. Технічні вимоги передбачають їх виготовлення із сталі, що по фізико-механічних властивостях не нижче марки 65Г (ДСТУ 3683-98). Твердість різальної крайки лапи, виготовленої без наплавлення, після термообробки в загартованій зоні повинна складати 44...54 HRC_E і не більше 352 HB в незагартованій зоні [26, 31]. Для наплавлених лап оговорюється лише максимальна товщина різальної крайки – 0,5 мм. Хвилястість РЕ по крайці не повинна бути більше 2 мм при нерівності різальної крайки по висоті не більше 0,4 мм. Наявність тріщин в основному металі лап не допускається. ДСТУ не регламентує склад зміцнювального твердого сплаву, проте, обумовлює напрацювання на одну лапу – 30 га. При виконанні операцій обробітку ґрунту швидкість переміщення культиватора знаходиться в

межах 1,25...3,3 м/с.

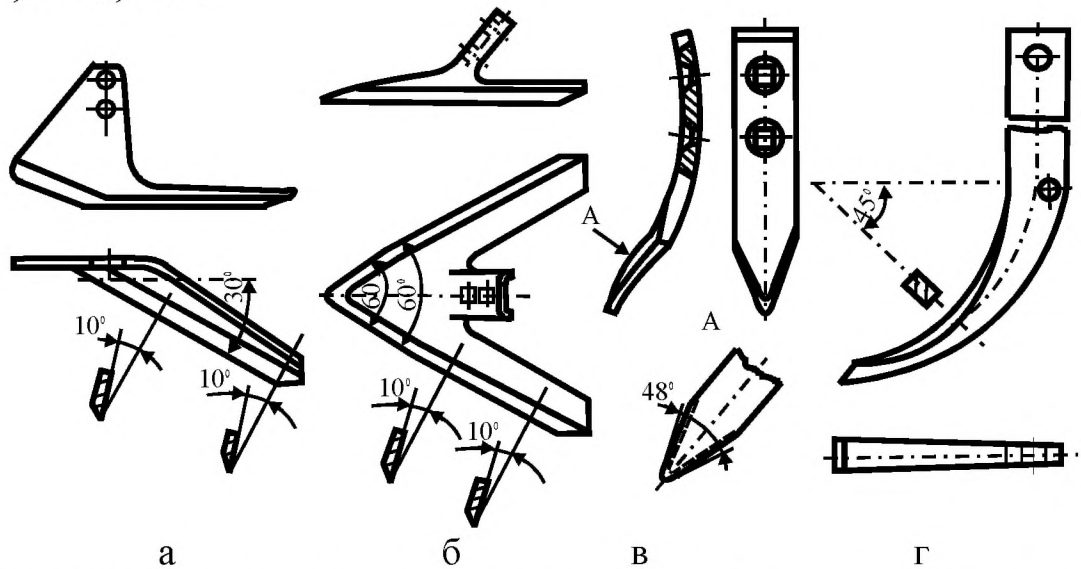
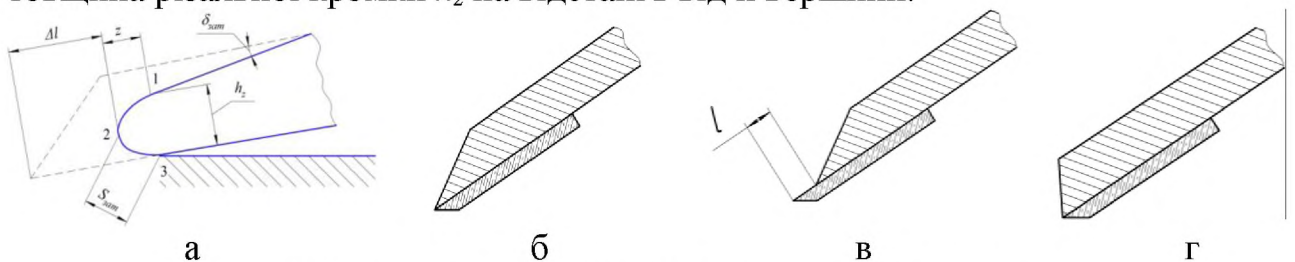


Рисунок 1.3 – Лапи культиваторів: а) плоскорізальна одностороння; б) плоскорізальна стрілочаста з хвостовиками; в) розпушуюча списоподібна; г) розпушуюча долотоподібна

В процесі зношування РОГМ їх РЕ змінюються за розмірами Δl , z (рис. 1.4, а) та спостерігається затуплення, що обумовлює зміну основних параметрів геометричної форми РЕ: ширина затилкової фаски $S_{зам}$, кут затилкової фаски $\delta_{зам}$, товщина різальної кромки h_z на відстані z від її вершини.



1-2 – лицьова сторона; 2-3 – затилкова сторона.

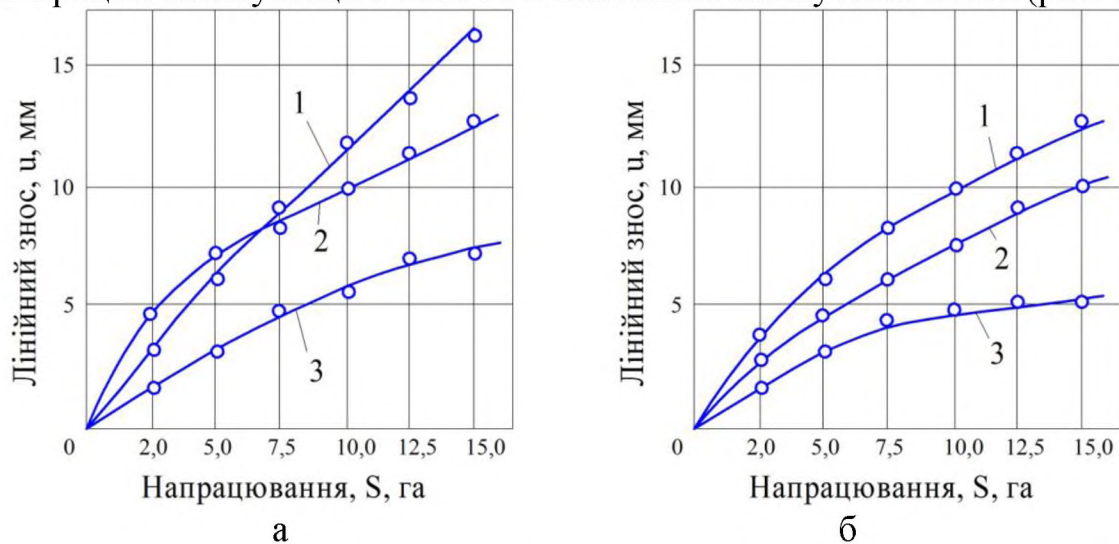
Рисунок 1.4 – Схема характеру зношування і зміни параметрів форми однорідного РЕ (а) та варіанти зношування біметалевих РЕ (б-г)

По лінії 1-2 лицьової сторони РЕ відбувається контакт з відрізаним шаром ґрунту, в точці 2 спостерігається його відрив, а лінія 2-3 – визначає затилкову фаску, яка переміщується по дну борозни. В момент відриву шару ґрунту кожна з двох зон, що характеризується лініями 1-2 та 2-3, контактує приблизно з однаковою кількістю АЧ і в процесі переміщення РОГМ зношується його робоча поверхня.

Дослідження [27, 28, 29, 30] свідчать, що зміцнення однієї з робочих поверхонь РЕ тонким шаром твердого сплаву стримує утворення затилкової фаски і дозволяє отримати ефект самозагострювання, як результат вибіркового зношування (ВЗ) локальних областей робочої поверхні [10, 18, 28, 32]. При цьому спостерігаються такі варіанти результату зношування РЕ: нормальне самозагострювання (рис. 1.4, б); переагострювання РЕ з виламуванням оголених твердих ділянок (рис. 1.6, в); затуплення й округлення різальної крайки (рис. 1.4,

г).

В процесі експлуатації РОГМ з РЕ найбільше зношується носок (рис. 1.5).



1 – піщано-щебенисті; 2 – важкі суглинисті; 3 – середньосуглинисті
Рисунок 1.5 – Залежність зносу носку (а) та середини різальної частини (б) стрілчастих лап культиватора від напрацювання на різних ґрунтах

Результати досліджень свідчать, що інтенсивність зношування носку (рис.1.5, а) стрілчастих лап культиваторів на різних типів ґрунтів у 1,8...2,5 рази вище, ніж середини їх різальної частини (рис. 1.5, б). Виявляються дві умовні стадії процесів зношування: на першій – криволінійна залежність зносу від напрацювання з тенденцією зменшення його інтенсивності, а на другій – лінійна залежність [7, 28, 29].

Зношування РЕ РОГМ в абразивному середовищі ґрунту приводить до зміни їх профілів (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Характер зміни профілю РЕ стрілчастих лап на різних ґрунтах: а і б – суглинисті; в і г – глинисті (напрацювання 40 і 80 га)

Порівняльний аналіз профілів РЕ стандартних лап культиваторів, зношених на різних ґрунтах, показує, що в більшості випадків вони мають округлу форму. Це можна пояснити тим, що культивацію ґрунту здійснюють на невелику глибину, порядку 10 см...12 см, і удари та ковзання його абразивних частинок вздовж робочої поверхні обумовлюють затуплення РЕ РОГМ. Останнє впливає на стійкість ходу РОГМ по глибині та на зміну вертикальної сили реакції ґрунту [33]. Зазначимо, що у нових РОГМ ця сила спрямована вниз. Одночасно з напрацюванням РОГМ спостерігається зростання горизонтальної складової, тягового опору [34, 35], і збільшення товщини РЕ [10, 36]. Дослідження [36] свідчать, що унаслідок зношування РОГМ і збільшення товщини РЕ від 0,2...0,3 мм до 0,8...1,2 мм тяговий опір підвищується на 7...14%, а до 2 мм – відповідно на 34%.

Згідно ДСТУ 7328:2013 для різних типів РОГМ існує гранична товщина РЕ [26]: для стрілочастих лап культиваторів при експлуатації на чорноземних ґрунтах і швидкості руху агрегату до 10 км/год гранична товщина не повинна перевищувати 0,8 мм, а при більш високих швидкостях – 0,8...1,0 мм. Якщо основною метою обробітку ґрунту РОГМ є підтримка його верхнього шару в рихлому стані, при малій кількості бур'янів, то ця величина може бути збільшена до 1,4 мм. Інтенсивність зношування РЕ РОГМ істотно залежить від вологості ґрунту [37, 38, 39]: зі зменшенням вологості верхня грань РЕ стрілочатої та односторонньої лап, зношується більш інтенсивно. При високій вологості (22...28 %) загальний їх знос значно знижується через налипання вологого ґрунту на РЕ. Зазначимо, що на інтенсивність зношування РЕ РОГМ також впливає щільність ґрунту [37, 39, 40, 41].

Для підвищення зносостійкості РОГМ і якісного виконання ними функцій зміцнюють їх робочі поверхні з урахуванням умов експлуатації, характеристик і властивостей матеріалів РОГМ та типів ґрунтів. Зміцнення намагаються здійснити такими способами щоб в експлуатації реалізувати ефект самоорганізації форми РЕ, тобто їх самозагострювання, при якому істотно знижується процес зношування [18, 27, 30, 42].

1.2 Аналіз природи та механізму процесів тертя та зношування РЕ РОГМ

1.2.1 Система поглядів на природу та механізм процесів тертя та зношування деталей і РОГМ в абразивному середовищі ґрунту.

Питання природи та механізму тертя та зношування деталей і РОГМ в абразивному середовищі ґрунту розглядали М.М. Хрушов, М.А. Бабичев, І.В. Крагельский, В.І. Костецький, Д.М. Гаркунов, В.М. Кащєєв, І.А. Ікрамов, А.Г. Добровольський, В.М. Ткачов, М.А. Буше, С.Л. Сидоров, І. Мюретті, В.Ф. Лоренц, М.М. Севернев, В.В. Аулін, А.І. Бойко, В.І. Дворук та ін.

В.Ф. Лоренц [5] вважав, що під зусиллям ґрунту АЧ ковзають по робочій поверхні деталі і дряпають метал і якщо їх твердість вища твердості основи металу деталі, то вони впроваджуються і витискують в ній канавки. Через неоднорідність структури матеріалу у витисненому об'ємі з'являються тріщини, тобто він стає послабленим і наступні АЧ продовжують деформувати і легко очищувати від нього поверхні тертя. В.М.Кащєєв [43] та Д.М. Гаркунов [44] вважають, що загальним для різних видів є механічний характер руйнування, а отже спостерігається АЗ. При цьому ступінь закріпленості АЧ відіграє вирішальну роль. Разом з тим вивчення факторів, від яких залежить зношувана здатність середовища ґрунту, через надзвичайно складний комплекс виникаючих питань, недостатньо досліджено. Розглядаючи зношувану здатність ґрунту М.М. Севернев [7] виявив залежність її від міцності АЧ, тобто здатності передавати навантаження без подрібнення.

А.Г. Добровольський [20] стверджує, що механізм зносу жорстко закріпленими і з високим модулем пружності АЧ, що мають сферичні ріжучі виступи, визначається тільки нормальним навантаженням і пружним

відновленням поверхні тертя. Багатьма дослідниками у зв'язку зі зносом РОГМ [38, 45, 46, 47] виявлено, що вплив зношувальної здатності ґрунтів підвищується в наступних випадках: при збільшенні розміру АЧ; при підвищенні їх вмісту; при гострогранній формі АЧ; якщо твердість АЧ більш ніж у 1,5...1,7 рази перевищує твердість зношувальної поверхні; при збільшенні навантажування на АЧ та ін. За результатами досліджень М.М.Хрущова, М.А. Бабичева [48], В.С. Попова [49, 50] впливає, що в заданому режимі АЗ об'єм зношеного металу зростає пропорційно навантаженню, шляху ковзання та твердості поверхні тертя.

І.В. Крагельский [51], в залежності від форми АЧ і діючих навантажень, виявив порушення фрикційних зв'язків при механічній взаємодії й наявність пружно-пластичного відтиснення матеріалу із зони тертя і зрізання впроваджених АЧ. Показано, що багатократність цих процесів приводить до утомного руйнування поверхневого шару деталей. Зі збільшенням глибини впровадження пружне відтиснення переходить в пластичне деформування, а далі – в мікрорізання. При цьому поріг зовнішнього тертя обумовлює впровадження АЧ на глибину 0,2...0,3 радіусу їх виступу.

Особливе місце займає АЗ в класифікації видів поверхневого руйнування матеріалів. Так, А.К. Зайцев [12, 13] розрізняє: різання, зрізання, врізання і зіскоблювання; подряпування і шліфування; сколювання; зім'яття, пластичного і в'язкого плинну; відшарування; розм'якшення нагріванням та ін., тобто руйнування пов'язуються з властивостями різального і оброблюваного характеру матеріалів і з механіко-динамічними умовами тертя. М.М.Хрущов і М.А.Бабичев [48] АЗ поділяють на наступні види: із закріпленими АЧ; при терті по абразивному прошарку; при терті в абразивному середовищі; ударно-абразивне зношування; струменем АЧ; в газовому або рідинному потоці із захопленими АЧ. При цьому зазначається, що якщо між спряженими поверхнями тертя знаходиться велика кількість АЧ, то одна (менша) їх частина ріже та подряпує метал, а інша, що перекочується, залишає слід на поверхні у вигляді лунок. Якщо АЧ знаходиться у ґрунті, то через їх округленість і незакріпленість спостерігається пластична деформація металу.

В.М. Ткачов [8], досліджуючи механізм зносу РОГМ, виділяє три основні види руйнування їх поверхонь: мікрорізання; багатократне деформування; корозійно-механічний знос. На думку Х.Чіхоса [6], як і у процесах поверхневої утоми, стирання частинок матеріалу деталей при АЗ викликано процесами контактної деформації при прямому фізичному контакті спряжених поверхонь, з яких одна твердіше і її нерівності впроваджуються в іншу поверхню.

І.А. Ікрамов [21, 52] механізм АЗ матеріалів розглядав на основі класифікації деформації і руйнування: крихке руйнування при відсутності пластичної деформації; квазікрихке руйнування при холодній пластичній деформації поблизу АЧ; квазікрихке руйнування при макроскопічній холодній пластичній деформації; в'язке руйнування при теплій або гарячій пластичній деформації. Зазначимо, що хімічна взаємодія контактуючих матеріалів з навколишнім середовищем ускладнює цю класифікацію, оскільки у результаті тертя відбувається не тільки зміна структури, але і хімічного складу матеріалу [53], аж до утворення вторинних структур (ВС) [22]. АЗ, на думку М.М.

Тененбаума [2], має відмітні ознаки: високий ступінь концентрації контактних напружень у поверхневому шарі; сильна дискретність і взаємна незалежність фрикційних контактів. При цьому виділено чотири види руйнування поверхонь тертя: крихке, в'язке, полідеформаційне та утомне. Зазначимо, що крихке і в'язке руйнування (мікрорізання) відбувається при однократній дії АЧ і в подальшому є прямим руйнуванням, а полідеформаційне і утомне руйнування відбуваються при циклічному деформуванні матеріалу АЧ в пластичній і пружній областях. З позиції дислокаційної теорії [54, 55] крихке і в'язке руйнування мають умовний характер, оскільки в обох випадках відбувається рух і взаємодія дислокацій.

Академік П.А.Ребіндер [56] розглядав АЗ як поверхнєве диспергування в результаті багатократної пластичної деформації, що приводить до зміцнення і утомного руйнування мікрооб'ємів матеріалу. При цьому процеси руйнування інтенсифікуються в результаті фізичного (адсорбційного) або фізико-хімічного знеміцнювального впливу робочого (технологічного) середовища.

Б.І.Костецький вважав [57-60], що форма і механізм руйнування при АЗ визначаються взаємодією поверхонь тертя з АЧ, сутність якого полягає у їх ковзанні, пластичному деформуванні металу, впровадженні в місцях контакту, руйнуванні поверхневих об'ємів без відділення металу або зі зняттям мікростружки. При цьому спостерігаються дві чітко виражені форми прояву процесів: механо-хімічне руйнування – пластичне деформування поверхневого шару, їх окислення і наступне руйнування окисних плівок та механічне руйнування поверхневого шару – впровадження АЧ і руйнування поверхневого шару без відділення частинок основного металу або зі зняттям мікростружки. Прояв зазначених форм АЗ залежить від співвідношення механічних властивостей АЧ і поверхневого шару зношуваного металу ТЕ: при співвідношенні їх твердості більшому за 0,6 спостерігається механо-хімічна форма зносу, а при меншому 0,6 – має місце механічна. В роботі [54] встановлено, що в залежності від співвідношення між твердістю АЧ H_a і твердістю металу можливі три різні режими АЗ: режим слабкого зношування ($H_a < H_m$); перехідний режим ($H_a = H_m$); режим інтенсивного зношування ($H_a > H_m$). Виявлено, що для зниження АЗ твердість матеріалу повинна в 1,3 рази перевищувати твердість АЧ. При дослідженні впливу розміру і форми АЧ та їх концентрації в середовищі ґрунту на процеси АЗ [53] стверджується, що зношування прямопропорційно залежить від концентрації АЧ, але цей вплив знижується зі зменшенням їх розміру.

В той час дослідження великої кількості зношених деталей СГТ, проведені С.Л. Наумовим [15, 16], не підтверджують чисто механічний характер їх руйнування, оскільки поверхні лемешів, відвалів та інших деталей РОГМ набувають високої якості та блиску. Основну роль тут відіграють механо-хімічні, хімічні процеси [7, 61, 62]: АЧ при терті не викликають пластичної деформації ПШ, а руйнуванню підлягають ВС у вигляді окисних плівок.

Таким чином, огляд уявлень про природу, механізми і види АЗ показав, що більшість авторів розглядають ці процеси як подряпання, зіскоблювання, впровадження, виорювання і зняття мікростружки, тобто як процеси чисто механічні. В якості основних факторів, впливаючих на процес АЗ, є такі: механічні властивості матеріалів деталей і АЧ; форма, розмір і концентрація АЧ;

навантаження, швидкість ковзання, якість поверхні і наявність робочого (технологічного) середовища. У відповідності із сучасними уявленнями суттєвим є активуюча роль деформаційного фактора, що різко посилює реакційну здатність поверхонь тертя. Неврахованими залишаються взаємодія активованого металу при АЗ з агресивними компонентами робочого (технологічного) середовища та механо-хімічні процеси вторинного структуроутворення. Зазначимо, що утворення і руйнування плівок ВС має вирішальне значення при АЗ деталей і РОГМ.

Вивчення механізмів АЗ і ряду різних факторів, що впливають на інтенсивність поверхневого руйнування необхідне для розробки заходів по підвищенню зносостійкості деталей і РОГМ. Виявлено, що всі вони зводяться до підвищення опору матеріалів впровадженню, дряпанню, мікрорізанню АЧ (для РОГМ), а для трибоспрязень деталей СГТ – обмеженню можливостей попадання АЧ в зону тертя. Питання керування абразивною зносостійкістю потребують системно-спрямованого підходу, а механізм тертя та зношування – обґрунтовано на основі синергетичної концепції з використанням методів підвищення зносостійкості та модифікування поверхневих шарів деталей.

1.2.2 Система поглядів на природу та механізм процесів тертя та зношування деталей і РОГМ, зміцнених КМ (КП).

Поряд з широкими дослідженнями процесів тертя і зношування матеріалів з гомогенною і мікрогетерогенною структурою [63, 64], механізм зношування КМ (КП) з макрогетерогенною структурою виявлено недостатньо [65]. В роботах В.Я. Белоусова [66], І.М. Бородина [67], В.І. Савуляка [68], М.І. Черновола [11], І.М. Федорченка [69], N.P. Suh [71-73], M.F. Ashby [74] та ін. зазначено, що з ряду відомих типів КМ (КП) плаковані, комбіновані, каркасно-наповнені, матрично-наповнені, останній є найбільш перспективним і в плані формування нових, зносостійких КМ (КП), доцільно виходити із розрахункових оцінок оптимізації структури, вмісту розмірів та розподілу наповнювачів, характеристик їх матеріалів. Складність і багатогранність процесів зношування КМ (КП), на думку В.П. Бондаренка [65], В.В. Ауліна [10] та інших авторів, примушує або вводити емпіричні константи та феноменологічні функції, що не мають реальних аналогів, або створювати спрощені моделі поверхні тертя та схеми механізму зношування [75, 76, 77].

Специфічні особливості роботи КМ (КП) з макрогетерогенною структурою обумовлюють необхідність аналізу НДС, що виникає в умовах навантаження силами тертя. Оскільки одна і та величина деформації може привести до крихкого руйнування однієї компоненти, до в'язкого – другого компоненту і утомленого – третього компоненту [43]. Тому в такому випадку визначальним є міцнісні характеристики кожної з компонент КМ (КП). Дослідженнями НДС ПШ, зміцнених КМ (КП) [65, 78, 79], виявлено необхідність урахування взаємодії сусідніх контурних та фактичних контактів в процесі тертя-ковзання. В науковій літературі це питання недостатньо досліджено й розглядаються не всі види зношування [65, 75, 80]. Слід також враховувати процеси викришування і відшарування КМ (КП). Зазначимо, що в процесі тертя задача ускладнюється

через суттєву залежність напружень від об'ємного співвідношення компонентів, їх розмірів, форми, а також конструктивних особливостей спряжених деталей та властивостей робочого (технологічного) середовища. Потребує виявлення механізм передачі НДС через контактну взаємодію нижче розташованим шарам.

Зв'язок процесу зношування КМ (КП) з їх механічними властивостями дано в роботах [65,79]. Наведені результати досліджень зносостійкості матеріалів з гомогенною та гетерогенною структурою свідчать, що у першому випадку вона нижча ніж у другому за рахунок більш швидкого вирівнювання контактної тиску у КМ (КП). Виявлено також явище самочинного встановлення і підтримання стаціонарного режиму зношування КМ (КП) завдяки існуванню зворотного зв'язку. Виходячи із ідеальних умов ковзного контакту, в роботі [65] за допомогою моделей поверхні тертя, розраховані триботехнічні характеристики КМ (КП) з різною структурою і різним складом. При цьому напруження, при якому припиняється пластичний плин матриці, дорівнює:

$$\sigma_k = \frac{P_m \cdot P_n}{c_n P_n + (-c_n) P_m}, \quad (1.1)$$

де c_n – об'ємний вміст наповнювача; P_m, P_n – контактний тиск матриці і наповнювача.

Підхід до рішення проблеми керування властивостями КМ (КП) викликає значний інтерес і вимагає розробок у напрямку аналітичного дослідження способів підвищення зносостійкості і оптимального підбору спряжених поверхонь деталей. Оскільки математичної або фізичної моделі, яка враховує всі особливості процесу тертя і зношування КМ (КП) на сьогодні не існує, то є необхідність у проведенні аналітичного дослідження залежності зносостійкості від структури і комплексу властивостей складових і в цілому КМ (КП). Варіюючи вмістом, при незмінній природі складових КМ (КП), змінюють сумарний контактний тиск композиції і її структуру [80, 81, 82, 83, 84], забезпечуючи постійність властивостей, що впливають на зносостійкість.

В умовах тертя і зношування пружна і пластична деформації є основними процесами, які ініціюють виникнення та розвиток фізичних, хімічних та механічних процесів в поверхневих шарах КМ (КП) [75, 76]. Виявлено, що в КМ і КП основну частку навантаження сприймає наповнювач. Зміцнювальні наповнювачі перешкоджають руху дислокацій в матриці, що підлягає пластичній деформації, обмежуючи її [76]. При цьому відбувається її зміцнення шляхом наклепу, швидкість якого зростає зі збільшенням вмісту наповнювача і зменшенням відстані між його частинками. В роботі [66, 68] встановлено, що в залежності від структурного стану КМ (КП) величина накопиченої пластичної деформації не однакова, що обумовлює різне протікання процесів релаксації. Тип і дисперсність частинок наповнювача (карбідів, боридів, оксидів, інтерметалідів) в сталях, які є бар'єрами для пластичної деформації, істотно впливають на гальмування процесу релаксації, але не виявлено, яким чином впливає ступінь дисперсності наповнювача на властивості КМ (КП), а вміст наповнювача – на релаксацію напружень і процес зношування.

На думку авторів робіт [8, 63, 65, 68, 75, 78, 85] основною причиною

руйнуючих процесів поверхневого шару КМ (КП) є НДС, що виникає в результаті контактних напружень і деформацій під впливом дотичних і нормальних навантажень при терті. Це обумовлює необхідність детального дослідження особливостей НДС у поверхневому шарі елементів ТТС. Вивчення особливостей НДС КМ (КП) як фактора, що визначає процес їх тертя і зношування, дозволяє підійти з єдиних позицій до нерозв'язаних проблем. При цьому ефективним є використання фізико-математичних моделей [68, 78, 79] та проведення оцінки НДС за розподілом навантаження в плямі контакту поляризаційно-оптичним та іншими методами. Спроби співставлення зносостійкості і НДС поверхневого шару КМ (КП) зроблено в роботі [78]. Згідно досліджень, проведених в роботі [65] необхідна релаксація локальних максимальних напружень в зміцненому поверхневому шарі. Виявлено, що зі збільшенням об'ємного вмісту і розміру наповнювача інтенсивність зносу зменшується, але при цьому недостатньо з'ясовано зв'язок зазначених факторів з величиною максимальних дотичних напружень в ньому.

Спроби оцінки НДС поверхневого шару КМ (КП), навантаженого силами тертя, з використанням теорії Герца [86, 87], відображені в роботах В.П. Бондаренка [65], В.Я. Белоусова [66], А.В. Ковальського [78]. Загальним недоліком при цьому є статичність і схематичність картин НДС, відсутність врахування сусідніх контактуючих локальних областей. Існуючі експериментальні і теоретичні дослідження [80, 88, 89] не дозволяють в повній мірі орієнтуватися в дійсному розподілі поля напружень і деформацій за реальних умов тертя, оскільки залишається не виявленим вплив структурних особливостей КМ (КП) на НДС та характер і величину зносу, а також їх зв'язок з умовами контактування. На наш погляд для вивчення цих питань перспективними є фізико-хімічні методи [84] та комп'ютерне моделювання [79, 90, 91] з використанням моделей реальних структур КМ (КП).

Слабо розроблені питання модифікування матриці і наповнювачів КМ (КП) потоками речовини і фізичних полів [82, 92, 93]. В роботах [75, 81, 93] показано, що при деяких умовах тертя структура гетерогенного матеріалу, що відповідає принципам Шарпі, не є оптимальною. Високу зносостійкість, термостабільність фаз, можливість регулювання морфологією структури та направленистю її елементів повинні мати гетерогенні матеріали КМ (КП), нанесені на поверхні деталей і РОГМ, що працюють в умовах АЗ. Їх працездатність вивчено недостатньо, через значні розходження в поглядах на вплив структурних особливостей КМ (КП), НДС та відсутність даних про поєднання компонентів по комплексу характеристик і їх властивостям. Не існує узагальнених критеріїв вибору оптимальних по зносостійкості композицій. Підвищити зносостійкість КМ (КП) можна за рахунок удосконалення їх структури, оптимального поєднання характеристик і властивостей компонентів, реалізації процесів і стану самоорганізації, тобто розв'язавши наступні задачі:

- отримання інформації про сприйнятливий НДС в поверхневому шарі деталей, зміцнених КМ (КП), і навантажених тертям, методом комп'ютерного моделювання та теоретичних оцінок;
- з'ясування особливостей розвитку процесів і станів поверхневого шару

КМ (КП) при припрацюванні і експлуатації;

- проведення теоретичних та експериментальних досліджень залежності триботехнічних характеристик КМ (КП) від структури і комплексу властивостей їх компонентів;

- розроблення рекомендацій по формуванню і застосуванню зносостійких КМ (КП) з оптимальною структурою для конкретних умов експлуатації деталей СГТ.

1.3 Види та характер зношування робочих органів ґрунтообробних машин

Під зносом робочих органів ґрунтообробних машин (РОГМ) прийнято розуміти результат їх тертя і зношування в середовищі ґрунту під час їх взаємодії, що оцінюється зміною їх форми та розмірів. Питаннями взаємодії РОГМ з ґрунтом, зношуванням їх робочих поверхонь займалися вчені М. М. Хрущов, М. А. Бабичев, В. М. Ткачов, А. Ш. Рабінович, А. Н. Розенбаум, Б.І. Костецький, І. Е.Ульман, М. М. Тененбаум, І. А. Ніловський та ін. Розрізняють наступні види зношування РОГМ : абразивний, адгезійний, втомний та корозійний. При цьому будь який вид зношування обумовлений процесом взаємодії та руйнування його матеріалу та зміною стану самого ґрунту. Найбільш поширеним при русі РОГМ в ґрунті є абразивне зношування [94,95,96], яке визначається процесами безпосередньої взаємодії їх робочих поверхонь з твердими абразивними частинками. Такий вид зношування характерний для умов експлуатації ґрунтообробних і землерийних машин [97,98-100].

Поверхні тертя РОГМ під час взаємодії з ґрунтом підлягає пластичній деформації в точках контакту з абразивними частинками. Руйнування зароджується в місцях найменших сил зчеплення - на межі поділу між шарами, а у разі виникнення достатньо міцного зчеплення (схоплювання) руйнування зсуву можливо усередині одного з матеріалів трибоелементів, на менш міцній ділянці [101,102,103].

Наступний вид зношування — адгезійне, яке пов'язане з послідовним утворенням і руйнуванням фрикційних зв'язків на поверхнях РОГМ, під час взаємодії з ґрунтом і супроводжується руйнуванням матеріалу граничної поверхні [95,104,105,106].

При взаємодії РОГМ з ґрунтом спостерігається і втомне зношування, при якому утворюються мікротріщини зі сколюванням частинок з робочої поверхні, схильної до знакозмінних напружень і деформацій. У режимі втомного зношування, як правило, працюють переважна більшість рухомих РОГМ .

Корозійне зношування на поверхнях РОГМ відбувається під впливом хімічно-активних рідкої та газоподібної фаз середовища ґрунту.

Під дією одного або сукупності перерахованих видів зношування РОГМ в ґрунті, а найчастіше під впливом цілого комплексу фізичних явищ, що виникають в поверхневих шарах поверхонь тертя, РОГМ можуть втрачати працездатність. Знос конкретного РОГМ розглядають залежно від переважання тих або інших умов роботи [4,107].

Відомо [107], що основним видом зношування РОГМ є абразивне зношування. На думку авторів робіт [108 - 110], це обумовлено передусім тим, що робочі органи ґрунтообробних і землерийних машин по характеру виконуваних функцій безпосередньо пов'язано з ґрунтами, здатними викликати абразивне зношування, а також тим, що при локалізації і високому ступені концентрації контактного напруження відбувається інтенсивне руйнування поверхневого шару РОГМ навіть при малій кількості абразивних частинок.

Інтенсивність абразивного зношування сталей, з яких виготовлено РОГМ залежить, в основному, від твердості матеріалу, фізико-механічних властивостей ґрунту, режимів роботи та інших чинників. Істотний вплив на інтенсивність абразивного зношування надає також структура матеріалу РОГМ [111,112,113].

Можливе отримання первинних структур матеріалів з властивостями, що забезпечують оптимальну їх перебудову і додаткове зміцнення в умовах експлуатації (механічне і фазове наклепування) [114,115,116]. В процесі тертя в залежності від умов експлуатації відбувається утворення вторинних захисних структур, сприяючих розширенню діапазону нормальних процесів і зниженню інтенсивності зношування [117,118,119,120].

Проте в складних умовах експлуатації РОГМ не завжди можливий оптимальний перехід початкових станів і властивостей поверхневих шарів матеріалів до вторинних зміцнених структур. Це перш за все стосується РОГМ, що працюють в умовах абразивного зношування і хімічно активному середовищі ґрунту [121,122,123]. Для забезпечення зносостійкості і захисту деталі від пошкоджень в цих умовах технологічними способами можна створити первинні структури матеріалу РОГМ, які максимально стабільні до механічних і хімічних дій ґрунту. Створення такої первинної структури може бути здійснене при зміцненні робочих поверхонь РОГМ різними методами нанесення зносостійких покриттів, що володіють високою стабільністю до механічних і хімічних дій і що забезпечують оптимальні умови зношування навіть за несприятливих умов навантаження [124,125].

Знос РОГМ відбувається при безперервній взаємодії металу з ґрунтом. Інтенсивність і характер зносу матеріалу РОГМ залежать від природи і властивостей ґрунту, а також від умов взаємодії з ним РОГМ [126,127,128,129].

Процес абразивного зношування визначається не тільки характером руйнування поверхневого шару, але і видом знеміцнення матеріалу РОГМ [130,131]. Розрізняють чотири основні види знеміцнення матеріалів при терті: механічне, теплове, адсорбційне і хімічне [132,133,134].

Механічне знеміцнення відбувається в результаті деформації поверхневого шару, що приводить до виникнення і розвитку дефектів структури, викришування матеріалу, підвищення внутрішніх напружень. Теплове знеміцнення матеріалу відбувається під дією тепла, що генерується при терті (наприклад, відпущення сталі, розм'якшення полімерів ін.).

Адсорбційне знеміцнення є результатом фізичної взаємодії матеріалу з поверхнево-активними речовинами, що викликає зниження твердості. Хімічне знеміцнення характеризується утворенням продуктів хімічної взаємодії матеріалу,

що зношується, із зовнішнім середовищем або протіканням внутрішніх хімічних і механохімічних процесів. У реальних умовах тертя можливі поєднання різних видів знеміцнення.

За заданих умов абразивної дії в конкретному матеріалі протікає цілком певний процес зношування, але в різних матеріалах процеси зношування можуть бути різними. Зміна умов роботи РОГМ в деяких межах не супроводжується зміною процесу зношування, а впливає тільки на його інтенсивність. Зношування РОГМ є складним самоналагоджувальним процесом, залежним від цілої сукупності різних чинників [128,642].

Механізм абразивного зношування можна пояснити дією абразивних частинок при їх впровадженні в матеріал РОГМ і поступовим руйнуванням його шляхом різання і сколювання [136,137]. Дослідженнями проведеними в роботі [138] виявлено, що опір сталей зношуванню в середовищі ґрунту визначається двома чинниками: твердістю і вмістом вуглецю, утворюючого в структурі матеріалу надлишкові карбіди. При рівній твердості зносостійкість сталі в ґрунті тим вища, чим більше в її структурі карбідів, твердість яких перевищує твердість ґрунтових абразивних частинок ґрунту. Виключення дії абразивних частинок можливе при твердості матеріалу деталі рівній або такою, що перевищує твердість абразивних частинок. Таким чином, зносостійкість матеріалів РОГМ залежить від співвідношення твердості абразивних зерен H_a і твердості матеріалу H_m , яке називається коефіцієнтом твердості $K_H = H_m / H_a$ [139]. Тому при виборі матеріалу для заданих умов роботи РОГМ основною умовою, що забезпечує усунення можливості абразивного зношування, повинен бути правильний вибір коефіцієнта твердості.

З досвіду експлуатації [140,141] відомо, що для РОГМ слід забезпечити необхідну міцність і зносостійкість, а отже сталь, з якої виготовлено РОГМ, повинна мати вміст вуглецю не нижче 0,4 %.

Не менш важливими чинниками, що впливають на зношування РОГМ є вологість і склад ґрунтів. Із збільшенням вологості піщаних ґрунтів знос РОГМ зростає. На глинистих і суглинних ґрунтах спостерігається зворотне явище [142,144].

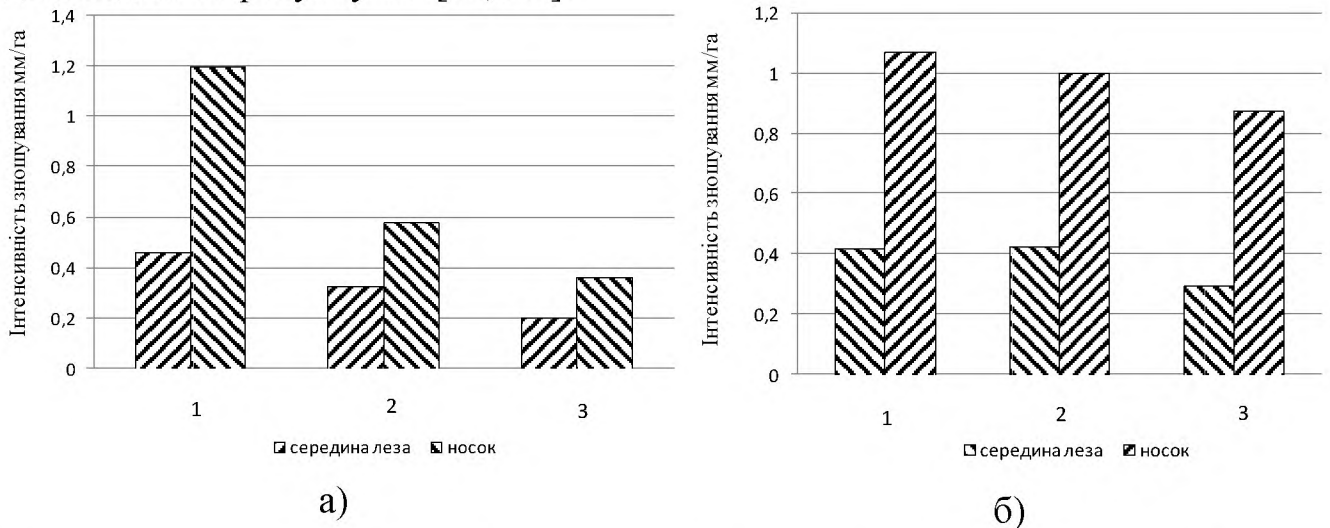
Вологість впливає не тільки на інтенсивність зношування, але і на характер зношування. Так, на супіщаних ґрунтах вологістю 2,8 ... 4,0% спостерігається в основному зношування по ширині, а з вологістю 9,4 ... 12% — по товщині в носовій частині РОГМ [145,146,147].

Вода здійснює істотний вплив як на стан частинок ґрунту, так і на властивості поверхневих шарів металу. Крім того, адсорбція молекул води в зоні контакту змінює картину взаємодії частинок ґрунту з металом РОГМ. М. М. Хрущов [48] встановив, що водне середовище при великій інтенсивності зношування не впливає на знос. Оцінка ступеня кислотності водного середовища кислотним числом рН показала недостатність впливу на знос сталі, що залежить і від природи розчинених в ній речовин.

Встановлено [99,149], що в супіщаному ґрунті вологістю 10...14% питомий тиск на робочій поверхні РОГМ розподіляється нерівномірно. Найбільший тиск

зазнає носова частина РОГМ. Середній тиск в зоні носку в 4,6...12,8 разу більше середнього тиску в його центральній різальній частині. Максимальний тиск в нижній частині зони носку при швидкості 1,4 м/с на глибині 22 см досягає 1,6...1,8 МПа. Найбільш чутлива до зміни режиму обробки ґрунту зона носку РОГМ.

Різниця в інтенсивності зносу носку і середини РОГМ для різних ґрунтів приблизно однакова. Через різницю тиску в ґрунті по крайці РЕ РОГМ знос носку приблизно в два рази вищий ніж знос середньої частини РЕ, що підтверджують дані подані на рисунку 1.7 [65,144].

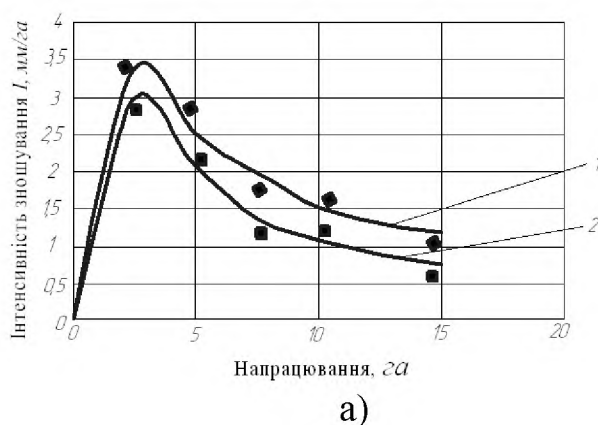


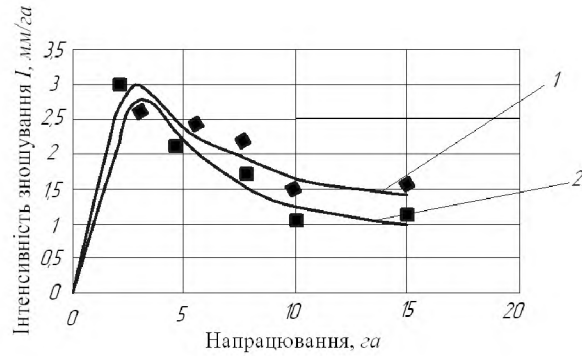
1 – важкосуглинистий ґрунт; 2 – супіщаний ґрунт; 3- середньосуглинистий ґрунт.

Рисунок 1.7 - Інтенсивність зносу РОГМ на різних ґрунтах: а) лемешів; б) лап культиваторів

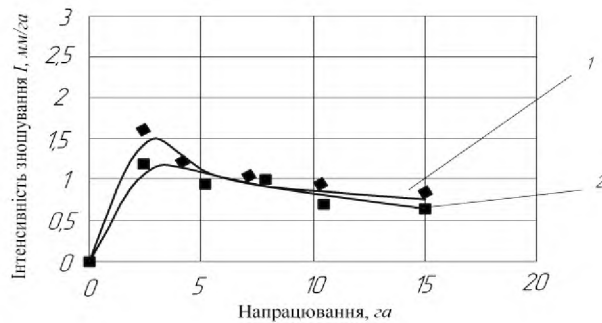
Інтенсивність зношування носку РОГМ має аналогічну закономірність, що і середина РЕ (рис.1.3). Дослідження наведені в роботі [154,155,156,157] свідчать, що найбільша інтенсивність зносу РОГМ по масі (0,260...0,450 кг/га) спостерігається на піщаних ґрунтах (80...95 % фізичного піску). При обробці супіщаних ґрунтів без кам'янистих включень інтенсивність зношування РЕ РОГМ коливається в межах 0,10...0,26 г/га.

Результати лінійної інтенсивності зношування зміцненого і стандартного РОГМ на суглинистому, піщаному і середньосуглинистому ґрунтах наведені на рис. 1.8 [158,159].





б)



в)

1 - стандартний РОГМ; 2 - зміцнений РОГМ.

Рисунок 1.8 - Інтенсивність зношування: (а - суглинисті ґрунти, б - піщані ґрунти, в - середньосуглинистому ґрунті)

При обробці глинистих і суглинистих ґрунтів (менше 80 % фізичного піску) інтенсивність зношування РЕ РОГМ складає 1,5...3,5 мм/га, а швидкість зношування РОГМ на піщаних і супіщаних ґрунтах в 3...4 рази вище, ніж на глинистих і суглинистих ґрунтах.

Згідно даних приведених в роботі [160,161], інтенсивність зношування лемешів на піщаних і легких супіщаних ґрунтах понад 0,3 кг/га, на важкому супіску 0,1...0,3 кг/га на легкому суглинку 0,037...0,1 кг/га, на середньому суглинку 0,012...0,037 кг/га на важкому суглинку і глині 0,002...0,012 кг/га.

Згідно роботи [152,162], інтенсивність зношування лемешів по ширині складає: на суглинних - 2,74, на супіщаних — 3,45 і на піщаних - 4,56 мм/га.

Основним недоліком РОГМ є вагомі втрати енергії при взаємодії їх з ґрунтом під час обробітку. Тяговий опір РОГМ залежить як від швидкості руху, так і від глибини обробітку ґрунту[163,164].

Таким чином, аналіз процесів зношування РОГМ показав, що зі всього різноманіття чинників, що впливають на нього і піддаються оцінці, можна виділити наступні:

- механічний склад ґрунту, що визначає її абразивну агресивність і зв'язність;
- щільність ґрунту, що визначає тиск на РЕ РОГМ ґрунтової маси і його інтенсивність зносу.

Необхідно враховувати і інші чинники, що характеризують властивості і стан ґрунту, вологість, коефіцієнт тертя, щільність твердої фази, напружено-

деформований стан та ін. Слід також прийняти до уваги умови експлуатації РОГМ: тиск, що діє на РЕ РОГМ, швидкість руху та ін.

Оскільки в землеробській механіці будь який РЕ РОГМ представляють у вигляді двогранного та тригранного клинів та їх поєднань, то при розгляді питання виявлення закономірностей взаємодії РОГМ з ґрунтом було обрано щілиноріз, РЕ якого двогранні клини та одностороння лапа – РЕ є поєднання двогранного та тригранного клинів.

1.4 Основні концептуальні підходи дослідження природи, механізму закономірностей процесів тертя та зношування і реалізації процесів і станів самоорганізації

Отриманий на сьогодні рівень знань про закономірності протікання процесів тертя та зношування матеріалів деталей і РОГМ дає різні уявлення про природу та їх механізми і недостатній рівень трибофізичного обґрунтування отриманих результатів. Так, за І.В. Крагельським [51, 165], зношування – це втомний процес руйнування в результаті багаторазової взаємодії мікронерівностей спряжених поверхонь деталей, при якому, у відповідності до молекулярно-механічної теорії тертя [133, 166] і теорії втомного зношування [167], дія стискаючих навантажень на контактах приводить до утворення адгезійних зон як результату молекулярної взаємодії.

М.М. Алексеєв, М.А. Буше [167] в межах механіки суцільного середовища і теорії дислокацій, розробили концепцію фрикційного плину, що описує еволюцію поверхневого шару матеріалу деталі при терті, виділяючи при цьому кілька стадій процесу: пластичний зсув з розпушенням поверхневого шару матеріалу; пластичний зсув з намазуванням речовини на поверхню тертя; ротаційний процес з утворенням частинок зносу. І.І. Гарбар [168] причину утворення частинок зносу пов'язує зі структурною фрагментацією та двома типами зміни структури від поверхні тертя всередину матеріалу. Відповідно існує два механізми зношування: при монотонній зміні структури за глибиною відбувається утворення і розвиток тріщин, а у випадку східчастої зміни структури по глибині – відшаровування частинок зносу.

Механохімічні аспекти тертя і зношування розроблені науковою школою Б.І. Костецького [169-172] і набули подальшого розвитку в роботах В.В. Шевелі та В.П. Олександренка [173] та ін. Виявлено, що на закономірності процесі тертя та зношування впливають: питома навантаження; відносна швидкість зсуву; температура; час життя плями контакту; робоче (технологічне) та зовнішнє середовища; характеристика матеріалів, що беруть участь у контакті й ін. Обґрунтовано, що фізична природа цих явищ набагато складніша, ніж фазова перекристалізація з утворенням аустеніту тертя [174, 175] і наявності окисного зношування [93, 171].

В теорії структурно-енергетичної пристосованості матеріалів при терті, запропонованої Б.І. Костецьким [58-60], процеси тертя та зношування виникають і розвиваються при протіканні двох основних явищ: активації – при збільшенні вільної енергії поверхневого шару матеріалів ТЕ і пасивації – при її зменшенні

[176, 177, 178]. При цьому робота сил тертя A_{mp} є джерелом загальної активації G_A і згідно першого початку термодинаміки витрачається на утворення теплоти Q (термічна активація G_{AT}) і поглинається поверхневим шаром матеріалу ΔE (G_{AC} – структурна активація):

$$A_{mp} = Q + \Delta E = G_A = G_{AT} + G_{AC}. \quad (1.2)$$

Оскільки активований стан поверхневого шару матеріалів ТЕ є нестійким, то він намагається перейти до пасивації, загальна енергія якого G_{Π} поділяється на розсіювану $G_{\Pi P}$ і поглинуту $G_{\Pi III}$:

$$A_{mp} = G_{\Pi} = G_{\Pi III} + G_{\Pi P}. \quad (1.3)$$

При цьому вирішальною величиною, від якої залежить діапазон навантажень при нормальному терті, є величина енергії, необхідна на утворення захисних ВС – G_{BC} [170, 176, 179]. Закономірності перетворень матеріалів в зоні тертя визначаються їх структурою, хімічним складом та властивостями матеріалів ТЕ, робочого (технологічного) середовища. У залежності від рівня інтенсивності енергетичного потоку і фізико-механічних властивостей матеріалів деталей дисипація енергії при структурних перетвореннях може супроводжуватися утворенням і рухом субмікродефектів структури, диспергуванням матеріалу, утворенням нових поверхонь і відділенням частинок зносу [177, 180, 181]. Порушення умов утворення і стійкості ВС обумовлює руйнування поверхневого шару основного матеріалу деталі, а зростання потоку енергії і розвиток теплових процесів приводить до виникнення ВС [54, 182, 183] термохімічного або тепломеханічного походження, і, як наслідок, до відновлювання стійкості зношування деталі.

Структурно-енергетична пристосованість матеріалів при терті є одним із видів прояву ефекту самоорганізації спряжених поверхонь деталей [182, 183, 184], який полягає в утворенні захисних ВС, що володіють екстремальними властивостями та екрануючою функцією основного матеріалу деталі від безпосереднього контакту і руйнування. Виявлено, що [176, 178] ці структури на поверхнях тертя формуються за наступних умов: система термодинамічно відкрита і обмінюється енергією і речовиною із зовнішнім середовищем; динамічні рівняння зміни стану поверхневого шару матеріалу спряжених деталей є нелінійними; відхилення значень параметрів від рівноважних перевищують критичну величину; процеси на мікрорівні відбуваються узгоджено, кооперативно.

Нестійкість активovanого стану поверхневого шару деталей при терті полягає в реалізації процесу пасивації, при якому основна частина вільної енергії $G_{A\text{заг}}$ розсіюється і лише незначна її частина $G_{A\text{еф}}$ накопичується і витрачається на утворення BC - G_{BC} . Співвідношення між $G_{A\text{еф}}$ і $G_{A\text{заг}}$ оцінюється коефіцієнтом накопичуваної енергії:

$$K_G = G_{A\text{еф}} / G_{A\text{заг}}. \quad (1.4)$$

Фундаментальною енергетичною основою самоорганізації матеріалів поверхневого шару деталей є динамічна рівновага процесів трибоактивації та пасивації [58, 59]:

$$G_{A\text{ef}} = G_{BC} . \quad (1.5)$$

При терті ця рівновага порушується зовнішнім впливом, що приводить до деструкції нових ВС, але ці ж дії і обмін речовиною і енергією із робочим (технологічним) та зовнішнім середовищами забезпечують їх постійну регенерацію – відновлення [92, 186, 187]. Тому основою кінетичної умови самоорганізації при цьому є узгодженість швидкостей утворення $v_{\text{утв. BC}}$ та руйнування $v_{\text{руйн. BC}}$ ВС на поверхнях тертя:

$$v_{\text{утв. BC}} \geq v_{\text{руйн. BC}} . \quad (1.6)$$

Слід врахувати і тривалість циклу утворення, стабілізації і руйнування τ_{BC} .

Виходячи з механохімії [86, 173], пластична деформація в зоні тертя приводить до утворень реакційно-активних ультрадисперсних орієнтованих структур, взаємодії їх з активними елементами середовища при спостереженні адсорбції, дифузії, хімічних реакцій, генеруванню теплоти і формуванні захисних ВС. При цьому відношення міцності ВС- σ_{BC} до міцності матеріалу деталі σ_{3M} оцінюється коефіцієнтом експлуатаційного їх зміцнення:

$$K_{3M} = \sigma_{BC} / \sigma_{3M} . \quad (1.7)$$

Комплекс енергетичних і кінетичних умов, механічних, фізико-хімічних, теплових, трибологічних та інших параметрів самоорганізації являє собою єдину систему з прямими і зворотними зв'язками (рис. 1.11).

За результатами досліджень Б.І. Костецького [59], вихідним результатом самоорганізації матеріалів ТЕ в ТТС є діапазон нормалізації (ДН) та рівень нормалізації (РН). Схематичне відображення нормалізації процесів тертя і зношування та їх характерні області наведено на рис. 1.12.

Межі і розміри ДН визначаються показниками теплової і структурної енергоємності та розсіюючою здатністю матеріалів, збільшення їх величин розширює ДН. Процес вторинної структуризації і якість ВС та інтенсивність зношування ТЕ обумовлені міцністю, екрануючою здатністю, товщиною шару ВС h_{BC} і коефіцієнтом заповнення ВС площі контакту k_{BC} . При цьому інтенсивність зношування, як показник РН, дорівнює [58]:

$$I_{3M} = h_{BC} / \tau_{BC} \cdot k_{BC} . \quad (1.8)$$

Керуючи процесами тертя та зношування при зміцненні та модифікуванні поверхневого шару матеріалу деталей, намагаються розширити ДН і підвищити РН, мінімізуючи при цьому інтенсивність зношування $I_{3M} \rightarrow \min$ і оптимізуючи коефіцієнт тертя $f_{mp} \rightarrow \text{opt}$. В таких ситуаціях керування зносостійкістю деталей передбачає наступні етапи: трибодіагностика; прийняття оптимальних рішень по зміцненню та модифікуванню; випробування. Розширюючи ДН і змінюючи РН можна виявити оптимальні умови адаптації деталей та РОГМ в процесі експлуатації.

При цьому коефіцієнти накопиченої енергії K_G і зміцнення K_{3M} ВС є найбільш об'єктивними показниками конструкторських, технологічних і експлуатаційних рішень, щодо підвищення зносостійкості ТТС: $K_G \rightarrow \min$;

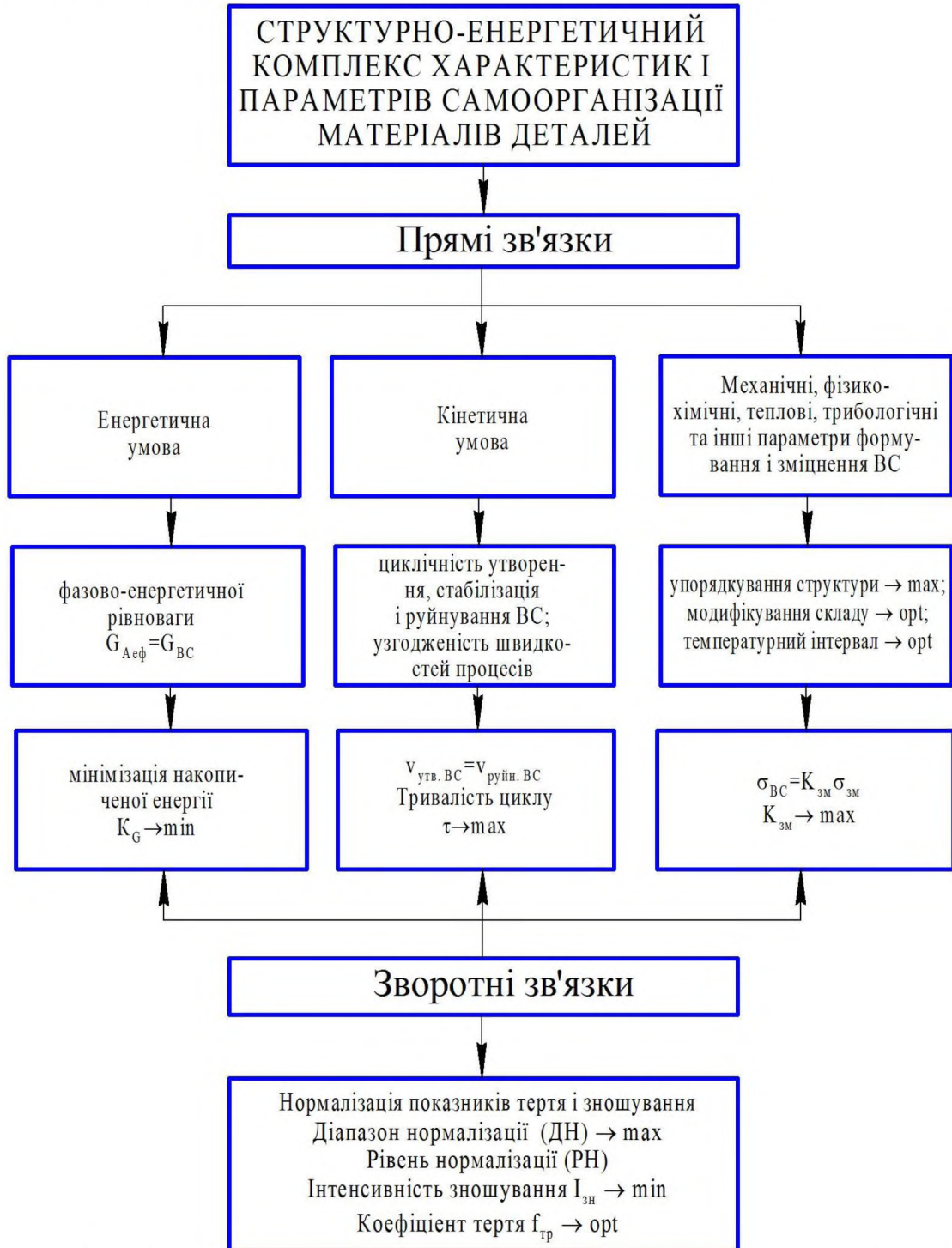
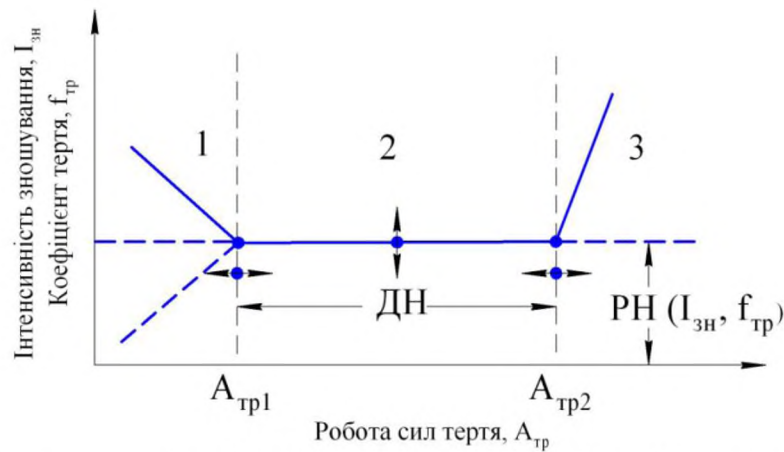
$K_{зм} \rightarrow \max ; I_{зн} \rightarrow \min ; f_{mp} \rightarrow \text{opt} .$


Рисунок 1.9 – Комплекс характеристик і параметрів самоорганізації матеріалів деталей

Сутність структурно-енергетичного підходу до виявлення закономірностей тертя та зношування спряжених деталей відображено і в роботах В.Д. Кузнецова [188], М.М.Давиденкова [189] та П.А. Ребіндера [56], в яких використовуються інваріантні структурно-енергетичні критерії оцінки стану їх поверхневого шару: питома робота руйнування $A_p = A_{mp} / \Delta I_u$ і теплоенергоємність $E_A = A_{mp} / \Delta T$ та методи трибодіагностування і триботехнічних випробувань.



1 – область неусталених процесів: $G_{A_{\text{еф}}} < G_{BC}$; 2 – ДН, РН – діапазон та рівень нормалізації: $G_{A_{\text{еф}}} = G_{BC}$; 3 – область пошкоджуваності: $G_{A_{\text{еф}}} > G_{BC}$.

Рисунок 1.10 – Схема нормалізації процесів тертя і зношування

Разом з тим через відсутність чітких уявлень про класифікацію і механізми поверхневого руйнування дана концепція не завершена, не зважаючи на проведеній у цьому науковому напрямі широкий цикл проведення робіт А.Д. Дубініним [190], С.В. Федоровим [191], В.В. Федоровим [192], Б.В. Протасовим [193], Г.Фляйшером [194], Л.І. Погодаєвим [195], В.С. Поповим і М.М. Бриковим [49, 50], В.С. Івановою [196], Л.І. Бершадським [197] та ін. Більшість із зазначених вчених вважали величину критичної енергії, накопиченої поверхневим шаром матеріалом в процесі руйнування, сталою величиною, в той час уявлення теорії поверхневої міцності і механізми поверхневого руйнування свідчать про залежність її від структури та виду руйнування. Л.І. Погодаєв [195] в структурно-енергетичній концепції враховує структурний фактор емпіричним коефіцієнтом, що не дозволяє повністю використати можливості фізичного та динамічного матеріалознавства зон тертя [196, 198, 199], а в подальшому концепція енергетичного підходу поєднується з уявленнями про матеріалознавчі і фізико-хімічні процеси [64, 200, 201], тобто формується трибофізичний підхід. В.С.Попов і М.М.Бриков [49, 50] вважають, що взаємодію трибоспряження деталей між собою і АЧ можна розглядати як процес передачі енергії робочій поверхні деталі, яка витрачається на приріст щільності дислокацій, мартенситні перетворення, утворення полів напружень і деформацій та інші процеси в ПШ, а також на подолання сил міжатомного зв'язку і формування нових поверхонь при відділенні мікрооб'ємів матеріалу в процесі тертя та зношування.

У більшості робіт [45, 34, 202, 203, 204, 205], присвячених вивченню взаємодії деталей між собою і з робочим (технологічним) середовищем, реальна внутрішня і поверхнева структура матеріалів не враховується. У залежності від умов тертя процеси, що виникають в їх поверхневому шарі матеріалів, можуть мати різні можливості для розвитку [115, 206, 207]. При одних умовах переважають хіміко-механічні процеси, пружно-пластична деформація поверхневого шару і його окислювання, при інших – теплофізичні процеси і термічне схоплювання. Мають місце і механіко-фізичні процеси [208], що приводять до розвитку явищ контактного холодного схоплювання або процесів механічної втоми, АЗ та ін.

Зазначене свідчить, що на належному рівні не знаходять відображення і різноманітність металофізичних, трибофізичних та фізико-хімічних аспектів, необхідних для побудови моделей і розвитку теоретичних уявлень в існуючих енергетичних теоріях і концепціях.

Структура матеріалу деталей і РОГМ визначає важливі показники конструктивної міцності, зносостійкості та надійності. Пошук оптимальної структури матеріалу ТЕ полягає у встановленні закономірностей впливу параметрів на показники металоємності і зносостійкості, що потребує досліджень залежностей триботехнічних характеристик від структурного стану матеріалів поверхневого шару деталей при різних типах контакту, розкриття оптимальних структур на різних рівнях навантаження та кількісних співвідношень їх складових, що забезпечують високу зносостійкість.

Зазначимо, що структурно-енергетична концепція процесів тертя та зношування базується на сучасних досягненнях фізики твердого тіла (ФТТ) та теоретичної фізики, перетворень матеріалів при терті та фізико-хімічному модифікуванні [70, 76, 173, 208, 209, 210]. При цьому доцільним є врахування термодинаміки відкритих систем [211, 212], кінетики поверхневих процесів – теорія швидкостей утворення і руйнування дисипативних структур (ДС) [213, 214], матеріалознавства локальних областей робочих поверхонь деталей – структурноміцнісні і фізико-хімічні аспекти трансформації і взаємодії матеріалів деталей і РОГМ з робочими (технологічними) середовищами. Виходячи з цього Б.І. Костецький [58] під тертям розумів процес перетворення зовнішньої механічної енергії в енергію внутрішніх процесів, закономірності якого визначаються структурним станом матеріалів поверхневого шару деталей та запропонував класифікацію процесів тертя і поверхневого руйнування, які мають єдину термодинамічну природу при нестійкому активованому стані і схильність матеріалів ТТС до пасивації.

Природа зовнішнього тертя не може бути описана тільки енергетичними моделями, оскільки на нього суттєво впливають механо-хімічні, фізико-хімічні, реологічні та трибологічні процеси. Крім цього різні види фізичних впливів (механічні, теплові, радіаційні, електричні, магнітні, оптичні та ін.), є безпосередніми факторами підвищення реакційної здатності поверхневого шару матеріалу деталей [176, 215, 216, 217]. Механічний вплив супроводжується комплексом фізичних та хімічних процесів, перетворенням механічної енергії реалізацією або запобіганням хімічних реакцій. Механічна активація розглядає в механохімії [53, 173], яка при урахуванні структурного, фазового і хімічного складу поверхонь тертя та дає великі можливості для вирішення теоретичних і практичних задач проблеми підвищення зносостійкості деталей і РОГМ.

Під впливом деформації при терті та зношуванні в поверхневому шарі деталей на порядки активізуються процеси переносу [56, 218]. При механічному навантаженні металів спостерігали аномальне прискорення процесів дифузії [219, 508]. П. А. Ребіндером [56] встановлено суттєвий вплив зовнішнього середовища і ПАР на процеси подрібнення зерна в металах ТЕ. При цьому зміна механічних властивостей матеріалів поверхневого шару деталей обумовлена зниженням вільної поверхневої енергії і, як наслідок, зменшення роботи,

необхідної для збільшення поверхні, виявлено механізми перетворення механічної енергії в інші форми енергії. Подальші дослідження в цьому напрямку проведені Ф.Р. Боуденом і Д.М. Тейбором [220].

Зазначене, дає можливість зробити деякі узагальнення, які можна використати при підвищенні зносостійкості деталей і РОГМ:

- механічні методи активації радикально впливають на реакційну здатність поверхневого шару матеріалів деталей;

- механічна активація є методом направленою регулювання фізичних, фізико-хімічних та трибологічних властивостей робочих поверхонь і поверхневого шару деталей;

- під впливом механічної активації спостерігаються якісні і кількісні зміни в характері хімічних зв'язків і трансформуванні хімічних складів поверхневого шару деталей;

- механо-хімічні методи активації стимулюють розвиток гетерогенних реакцій.

Е.А. Адировичем і Д.І. Блохінцевим [221] запропоновано динамічний підхід до вивчення тертя та зношування матеріалів, який знайшов подальший розвиток у роботах С.В. Кривоша [222] та інших вчених [157, 223]. При цьому матеріал в зоні тертя розглядається як система збуджених осциляторів, що згасають у відповідності з релаксаційними властивостями, і висловлюється припущення про можливість дисипації енергії за допомогою хвильових потоків [222, 223]. Це один з проявів структурної самоорганізації матеріалів елементів ТТС і метод підвищення їх зносостійкості.

Л.Й. Бершадський [224-226] запропонував інформаційно-динамічну і структурно-динамічну концепції, в якій тертя розглядається як стохастична система лінійних осциляторів (елементарних збуджень), як синергетичні ефекти (автосинхронізація, автохвилі параметрів та ін.), обумовлені потоковою кореляцією цих збуджень. Зазначені концепції продовжують розвиватися.

В термодинамічному підході до тертя [327, 328], розглядають квазістатичне і кінетичне тертя та запропоновані узагальнені принципи проектування матеріалу деталей із заданою зносостійкістю: принцип реодинамічної локалізації; принцип дисипативної гетерогенності; принцип трибоекранування.

В синергетичному підході [229, 230, 231, 232] важливим при терті та зношуванні є використання синергетичної концепції, яка визначає умови протікання процесів і формування станів самоорганізації поверхневого шару при припрацюванні, експлуатації та технологічній обробці матеріалів деталей, особливо при зміцнюванні, відновленні, модифікуванні. При цьому трибоспряження деталей повинно мати мінімальне зношування, а отже максимальну зносостійкість, що заслуговує на особливу увагу.

Проаналізуємо результати досліджень за синергетичною концепцією [229, 230, 233, 234, 235]. Через різноманітність і багатогранність умов протікання тертя та зношування згідно цією концепції створюються можливості виникнення великого спектру станів і процесів самоорганізації, які забезпечать належний рівень зносостійкості та надійності деталей і їх спряжень. Виявлено, що самоорганізація і утворення ДС (ВС) при терті можуть здійснюватися шляхом

різних за природою трансформацій в матеріалах деталей та робочих (технологічних) середовищ (рис. 1.11), в яких вони працюють, але механізм протікання можуть мати істотні загальні особливості. При цьому утворені просторові та просторово-тимчасові структури матеріалів деталей визначають їх зносостійкість, антифрикційність і фрикційність.



Рисунок 1.11 – Схема різних форм трансформації при самоорганізації матеріалів деталей та робочих (технологічних) середовищ

У традиційних умовах роботи трибоспряжень деталей в поверхневому шарі матеріалів утворюються дисипативні ВС механо-хімічної природи, що володіють екстремальними властивостями та екранують основний матеріал від безпосереднього контакту і руйнування. Трансформація початкової структури матеріалів деталей в нову фазу супроводжується максимальним зміцненням, подрібненням зерна, появою текстур у напрямі переміщення при терті і насиченням робочої поверхні активними компонентами робочого (технологічного) середовища. Виявлено, що для процесів утворення самоорганізуючих структур на робочих поверхнях деталей в результаті кінетичних фазових переходів (КФП) [213, 217, 236, 238, 239, 277] характерним є наступне:

- всі види взаємодії локалізуються в тонкому шарі ВС, відбувається масштабний стрибок і глибина ПШ, що приймає участь в процесі тертя та зношування і його пошкоджуваності, зменшується на 4...5 порядків;
- спостерігається кінетичний стрибок, при якому швидкість дифузії і хімічних реакцій підвищується на 5...11 порядків;
- структурні і фазові стани різко відрізняється від рівноважних умов: ВС мають бездислокаційну будову, розчинність окислювачів в поверхневому шарі

підвищується на 3...5 порядків, ВС I типу (тверді розчини окислювачів в металах) зберігають металевий стан з різко вираженою нестехіометрією хімічних сполук та ін.

Зазначимо, що КФП здійснюється при кооперативному та синергетичному впливах процесів деформації, дифузії і нагрівання [217, 240, 241] і в результаті нормальних механохімічних і термохімічних процесів зношування виникає нова форма самоорганізації структури поверхонь тертя [240, 242]. Це і є об'єктом руйнування при наступних взаємодіях дисипативних процесів, які мають єдину термодинамічну природу, нестійкий активований стан та схильність матеріалів деталей до пасивації.

Технологічна зміцнююча обробка матеріалів, активування при модифікуванні, обумовлюють термомеханічні, термохімічні та фізико-хімічні процеси, виникнення ВС термохімічної природи на поверхнях тертя. Стан самоорганізації реалізується і при утворенні аморфних плівок продуктів мащення на поверхнях ТЕ. Виявлені протизносні і протизадирні властивості шару полімерів тертя (ПТ), ефект трибополімерізації [243-245]. Явище самогенерування з утворенням на поверхні деталей ТЕ органічних плівок, виявлене при роботі в середовищі мінеральних олів [246, 247], змінює рівень і характер трибоактивування зон тертя, що обумовлює стан зносостійкості, антифрикційності і противозадірної стійкості їх матеріалів. Наочним прикладом самоорганізації полімерів та мастильних середовищ в ТТС є формування структур їх молекул, орієнтованих при терті міцними ланцюгами по напрямку руху [246], тобто їх текстурування. Плівки ПТ відрізняються за своєю будовою і властивостями від плівок мащення мастильного матеріалу в об'ємі та істотно впливають на стан поверхні ТЕ.

Групу твердофазних просторово-тимчасових структур складають ВС механіко-хімічного походження. Це передусім тверді розчини окислювачів в металах, які мають аномальну пластичність. Плівки структур цього типу не можуть існувати в зоні контакту ізольовано через нерівноважність енергетичного стану і при переміщенні вони закріплюються на поверхнях тертя, заліковуються дефекти і вигладжується рельєф. При віддаленні їх від поверхні деталі відбувається агрегування поверхневого шару, рушійною силою якого є зниження вільної енергії [172, 191, 248], а у разі припинення руху спостерігається затвердіння такої плівки [245].

Ефективним процесом самоорганізації є вибіркоче перенесення (ВП) [249, 250, 251], яке відбувається самочинно з утворенням в зоні контакту тонкої металевої плівки з низьким опором зсуву, що не окислюється і не піддається наклепу. Продукти зносу переходять з однієї поверхні тертя на іншу і назад. У зоні тертя вони утримуються електромагнітними силами. Реалізація на практиці режиму ВП обмежується необхідністю роботи у відновних середовищах і використанні змащувальних матеріалів з присадками та добавками металевих порошків (мідь, свинець, індій, олово та ін.). При цьому формуються структури металоплакування [187] і на поверхнях тертя утворюється шар м'якого металу, що екранує поверхневий шар деталі від руйнування [245] та забезпечує процес регенерації [136, 186].

Таким чином, проведений аналіз основних концептуальних підходів дослідження природи, механізму і закономірностей процесів тертя та зношування свідчить, що синергетична концепція найбільш ефективно дає можливість розв'язати проблему підвищення зносостійкості деталей і РОГМ і може слугувати підґрунтям для створення трибологічної теорії еволюційного розвитку ТТС СГТ та трибофізичного обґрунтування процесів і станів, автоматичного (АК) та синергетичного (СК) керування ними. В зв'язку з цим ускладненість вивчення процесів тертя та зношування потребує всебічного підходу і поєднання системно-спрямованого підходу та синергетичної концепції. В трибології ця методологія дозволить розробити такі форми аналізу, за допомогою яких можна обґрунтовано виділити основні параметри і їх взаємозв'язки, а також ефективно вирішити основну її проблему: підвищення зносостійкості елементів і ТТС СГТ в цілому. Розв'язання цієї проблеми на основі трибофізичного обґрунтування закономірностей взаємодії деталей і РОГМ з робочим (технологічним) та зовнішнім середовищами вимагає врахування багаточисельних параметрів та впливу різних факторів.

Найважливішими з факторів, що визначають опір матеріалів ТЕ зношуванню, є оптимальна їх структура та сприйнятливості поєднання комплексу фізико-механічних, фізичних, фізико-хімічних, триботехнічних та реологічних характеристик і властивостей, взаємне розташування, кількісне співвідношення і характер взаємодії окремих складових структури. Одержання необхідного комплексу характеристик та властивостей матеріалів ТЕ є складним завданням. Для різних швидкісних і навантажувальних режимів тертя оптимальна зносостійкість спостерігається при характерних для кожного конкретного випадку ТТС структурних станах матеріалу їх елементів. Перспективним при цьому є структурно-неоднорідний матеріал ТЕ, який зношується як одне ціле через перерозподіл питомого навантаження в процесі тертя: воно збільшується для більш зносостійких локальних ділянок і зменшується для менш зносостійких. Це доцільно враховувати при розробці диференціального підходу до проблеми підвищення зносостійкості деталей і РОГМ із застосуванням функціонально-спрямованого зміцнення, особливо коли спостерігається ВЗ локальних областей їх робочих поверхонь.

1.5 Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей і РОГМ

1.5.1 Методи підвищення зносостійкості поверхонь деталей і РОГМ композиційними матеріалами і покриттями.

Створення КМ (КП) базується на основі поєднання в певному об'ємі матеріалів різних класів, що володіють цілим комплексом властивостей характерних металу, кераміці або полімеру в залежності від вмісту компонентів [65, 66, 67, 69, 146]. Природа вихідних компонентів, їх фазовий стан, співвідношення, стан границі поділу фаз (компонентів) і створення певної мікро- і макроструктури визначають властивості КМ (КП), необхідні для підвищення зносостійкості деталей і РОГМ [11, 85, 252, 253]. Блок-схема можливого сполучення матеріалів в КМ (КП) наведено на рис. 1.12.

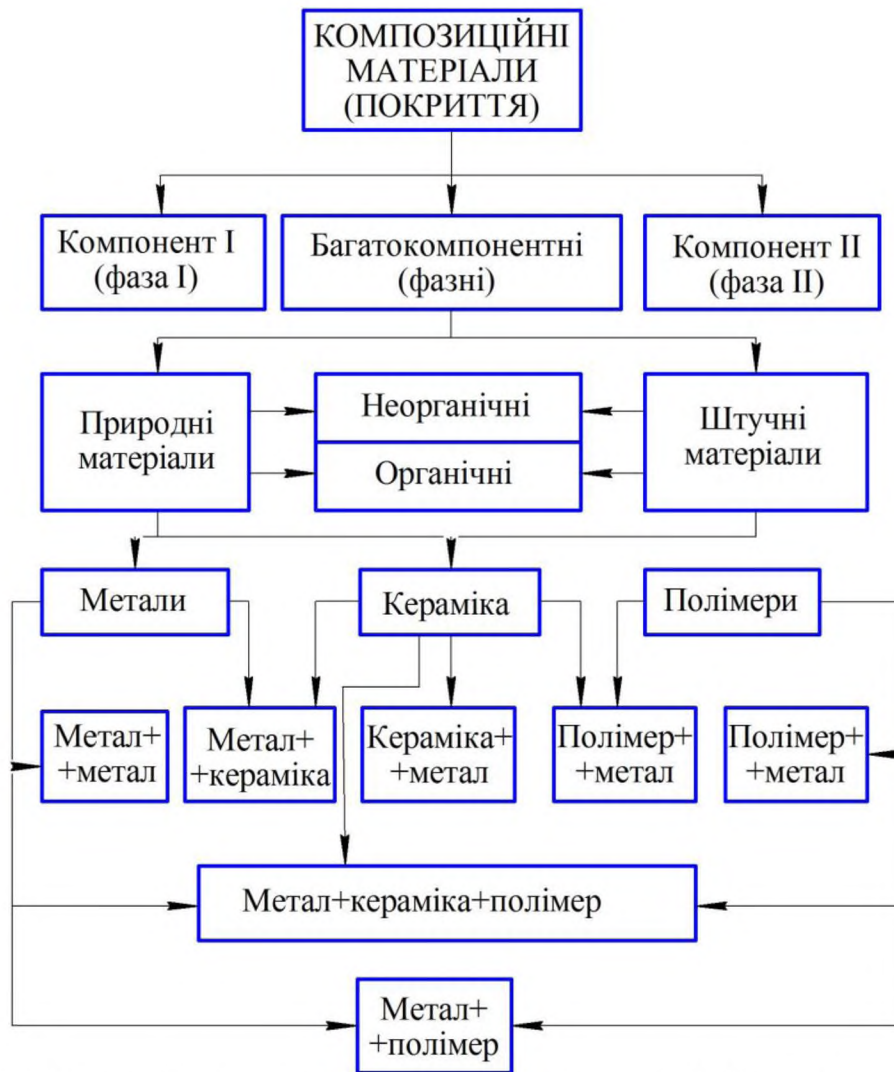


Рисунок 1.12 – Можливі сполучення основних класів матеріалів при створенні КМ (КП)

Формування КМ (КП) на робочих поверхнях деталей відбувається по наступних варіантах [11, 75]: послідовне нанесення окремих компонентів із різних класів матеріалів; рівнобіжне (одночасне) нанесення окремих компонентів; використання у якості вихідних заздалегідь сформованих матеріалів у вигляді порошків, паст, шлікерних обмазок, суспензій, розчинів, електродів, присадних прутків, дротів, стрічок та ін. [43, 234].

Великий внесок у науку і практику одержання і використання КМ (КП) внесли вчені: Ю.С. Борисов, М.М. Дорожкін, Д.М. Карпінос, П.С. Кислий, В.В. Кудинов, А.В. Поляченко, К.І. Кравець, Г.К. Потапов, Р.С. Сайфуллін, Г.В. Самсонов, І.М. Федорченко, М.І. Черновол, М.Л. Шоршоров та ін., а також закордонні дослідники: Л. Браутман, Р. Крок, К. Крейдер, А. Хасуї та ін., а у розробку способів одержання композиційних порошків – Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ, Грузинське НПО "Композиційні системи", Білоруський агроуніверситет, Самарський авіаційний університет, "Гіпронікель" (м. Санкт-Петербург) та ін.

Найбільш керованим є КМ (КП) з порошків, які являють собою інтегровані комплекси вихідних компонентів (метал, кераміка, пластмаса) у кожній порошковій частинці [68, 69, 81, 255], а їх плакування може бути здійснено: з

твердої фази; з розплаву; з водяних розчинів; з газової фази; у вакуумі.

Стабільними по складу і конструкції є заздалегідь сформовані КМ (КП) з визначеним рівнем зв'язку між компонентами та високою технологічністю. Зазначене сприяє одержанню більш високої якості КМ (КП) у порівнянні з відокремленими компонентами або з несформованих композицій (механічних сумішей, шлікерів, суспензій, розчинів і т.п.). Методи зміцнення деталей КМ (КП) можна поділити на три основні групи: рідкофазні, твердофазні і процеси осадження і напилювання (рис. 1.13). Найбільш поширеними з них для деталей і РОГМ при виготовленні і відновлюванні є: наплавлення, наварювання, припикання, газотермічне напилювання, електрохімічне і хімічне осадження, комбіновані [68, 84, 255].

На практиці ефективними є комбінації технологічних способів зміцнення: напилювання + оплавлення (індукційне, газове, лазерне й ін.); напилювання + контактна наварювання або припикання; напилювання + просочення; електролітичне осадження + термообробка та ін. Зазначимо, що при цьому лазерне оплавлення формує покриття з дрібнодисперсною структурою, армоване з рівномірно розподіленими зміцненими фазами, що відрізняється високими триботехнічними властивостями [68, 93, 256, 257]. Термічна обробка концентрованими потоками енергії (КПЕ) дозволяє підсилити міжфазну взаємодію компонентами в КМ (КП) і підвищити їх експлуатаційні характеристики.

На основі сучасних уявлень теорії тертя і зношування у працях В.А. Белого, В.Я. Белоусов, Д.М. Гаркунова, Б.І. Костецького, І.В. Крагельського, А.П. Семенова, І.М. Федорченка, М.І. Черновола, В.В. Ауліна та ін. [48, 51, 58-60, 61, 66, 78, 165, 258] можна сформулювати ряд трибологічних принципів створення і обґрунтувати доцільність зміцнення деталей і РОГМ КМ (КП):

- структура КМ (КП) повинна бути гетерогенною і складатися з твердих наповнювачів (включень), рівномірно розподілених в пружно-пластичній матриці;
- структура КМ (КП) не повинна істотно змінюватися в процесі тертя, але може перебудовуватися в більш вигідну структуру без знеміцнення;
- шар КМ (КП), нанесений на поверхню ТЕ, повинен мати меншу міцність ніж шари, що лежать нижче (правило додатного градієнта);
- поверхневий шар, зміцнений КМ (КП), в процесі тертя не може підлягати наклепуванню;
- під впливом робочого (технологічного) або зовнішнього середовищ в КМ (КП) не повинні відбуватися суттєві структурні зміни, погіршення характеристик міцності і пластичності;
- до складу КМ (КП) рекомендується вводити речовини, здатні працювати як тверде мастило;
- між структурними складовими КМ (КП) має бути адгезійний зв'язок;
- протизадирні добавки, внесені в зону тертя, не повинні значно знижувати міцність КМ (КП);
- коефіцієнти тертя твердих наповнювачів (включень) між собою і по матеріалу матриці КМ (КП) повинні бути мінімальними та ін.

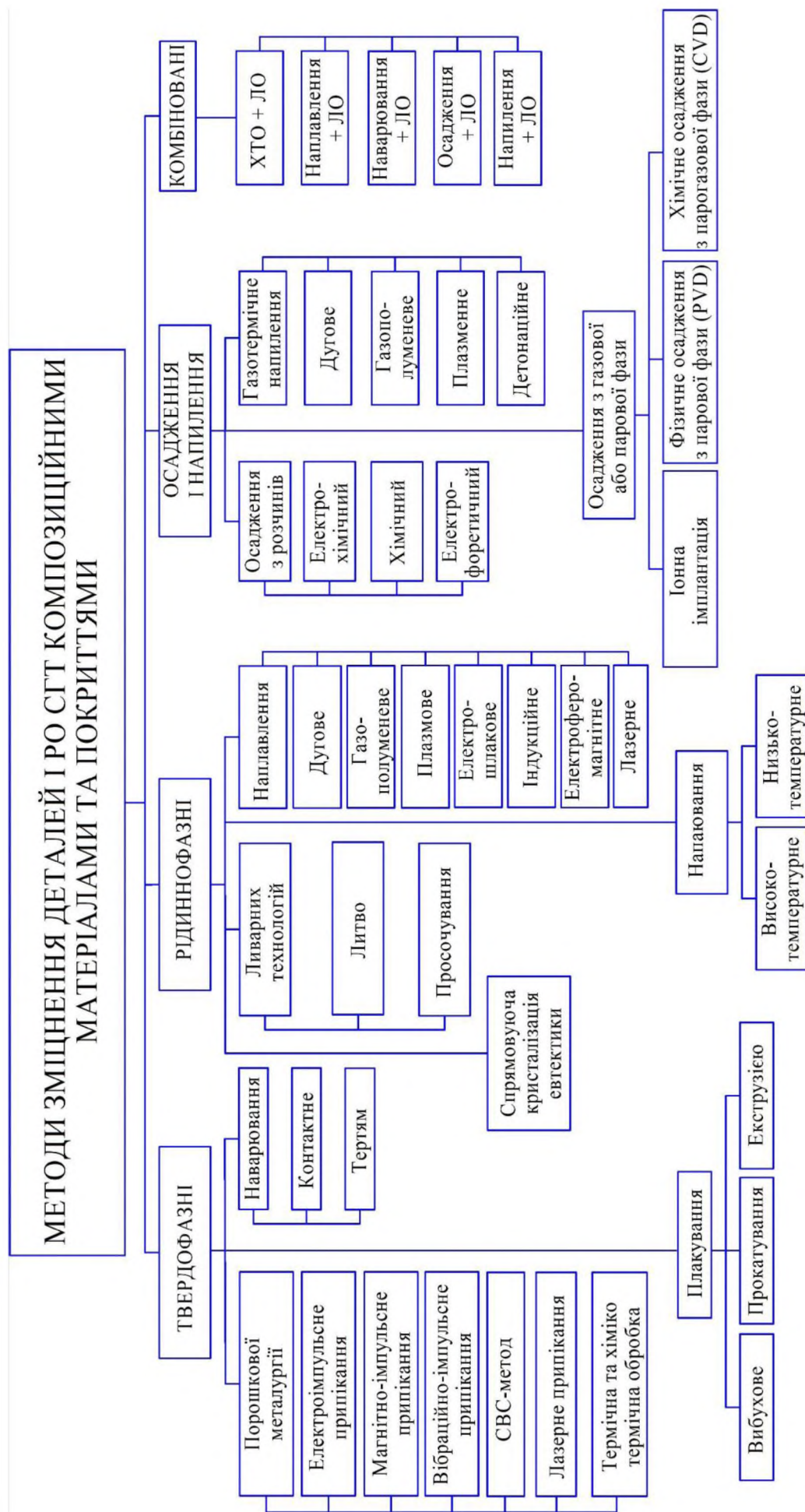


Рисунок 1.13 – Класифікація методів зміцнень деталей і РОГМ КМ (КП) при їх виготовленні і відновленні

Зазначимо, що вимоги до структури і властивостей зносостійких КМ (КП) можуть бути уточнені і конкретизовані в процесі експериментальних та теоретичних досліджень в залежності від типу ТТС, умов тертя і виду зношування [19, 65, 66]: мінімізація пористості; забезпечення гетерогенної структури матеріалу зерна твердих складових з розмірами близькими до АЧ і рівномірним їх розподілом в пружно-пластичній матриці; адгезійний зв'язок між компонентами має бути достатньо міцним; в умовах АЗ співвідношення твердості зміцненого матеріалу й АЧ $K_{та} \geq 1,0 \dots 1,2$ та ін. Ідеальною, з погляду триботехнічних вимог, є трифазна структура КМ (КП) [43]: пружно-пластична матриця, тверді зносостійкі наповнювачі (включення) і частинки твердого мастила для забезпечення реалізації правила додатного градієнта властивостей.

Аналіз експлуатаційних характеристик КМ (КП) триботехнічного призначення [66, 67, 68] свідчить, що вони визначаються умовами роботи ТТС і в широких межах варіюються: низькі значення коефіцієнта тертя і висока зносостійкість; поєднання оптимальної об'ємної і поверхневої міцності з легкою припрацьовуваністю поверхонь спряжених деталей та достатньої в'язкості для виключення крихкого руйнування; висока втомна міцність; здатність утворювати шари ВС; достатня теплопровідність і оптимальні значення коефіцієнта теплового розширення (КТР); наявність запасу твердого або рідкого мастила; економічність і технологічність при виготовленні [11, 67, 93].

Що стосується технологічних ознак формування КМ (КП) [146, 259], то можна виділити основні групи шляхів одержання і підвищення їх зносостійкості: зменшення пористості, утворення дрібнозернистої гетерогенної структури, її стабілізація і сферодизація. Виявлено, що основними тенденціями підвищення зносостійкості деталей з удосконаленням технологій зміцнення деталей і РОГМ КМ (КП) є:

- гетерогенізація структури КМ (КП) із забезпеченням оптимального розподілу напружень і зосередженням передачі навантаження на їх тверді складові, що мають порівняно невисокий коефіцієнт тертя і суттєво не зношують спряжену поверхню;
- формування зміцненого шару КМ (КП) з регульованою пористістю, використанням перколяційних процесів та облітерації;
- застосування КПЕ (лазерних технологій) для модифікування складових КМ (КП), нанесених на поверхню деталей;
- введення частинок твердого мастила (графіту, сульфідів, селенідів, фторидів і т.п.) в якості наповнювачів КМ (КП);
- використання КМ (КП) на основі матриць з алюмінію, заліза, нікелю, кобальту, а в якості наповнювачів – оксидів, карбідів, боридів, нітридів, інтерметалідів та різних видів пластмас;
- застосування ХТО складових КМ (КП), дисперсійних твердіння і зміцнення та армування вуглецевими, боридними, скляними волокнами матриці.

Аналіз стану питання закономірностей тертя та зношування деталей і РОГМ, зміцнених КМ (КП), та вирішення проблеми підвищення зносостійкості ТТС СГТ свідчить, що доцільним при обґрунтуванні результатів

експериментальних досліджень є: побудова статистичних статичних та динамічних моделей зношування; визначення основних принципів та закономірностей формування КМ (КП) триботехнічного призначення, враховуючи комплекс характеристик і властивостей складових та процеси, що протікають між ними; оптимізація складу КМ (КП) з метою підвищення фізичних, фізико-механічних та трибологічних властивостей зміцнених шарів, а отже і зносостійкості; виявлення техніко-економічної доцільності впровадження технологій підвищення зносостійкості КМ (КП) і визначення оптимальних та діапазону раціональних технологічних параметрів процесу зміцнення з урахуванням НДС складових КМ (КП) та деталей і РОГМ в цілому.

1.5.2 Методи підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами.

Широкому впровадженню методів підвищення зносостійкості РОГМ сприяли дослідження вчених: В.М. Ткачова, А.Ш. Рабіновича, А.М. Розенбаума, І.Є.Ульмана, М.М. Тененбаума, М.М. Хрущова, І.А. Ніловського та ін. Основними напрямками підвищення довговічності РОГМ є застосування: зносостійких та біметалевих матеріалів; двошарового прокату; твердих сплавів та зміна форми при конструюванні та ін. Високу зносостійкість РОГМ забезпечують конструкторські і технологічні методи при їх виготовленні з урахуванням умов та подальшого коригування режимів експлуатації [67, 120, 252, 260]. Групи конструкторських, технологічних та експлуатаційних методів підвищення зносостійкості наведені на рис. 1.14.



Рисунок 1.14 – Методи підвищення зносостійкості РОГМ

При виготовленні РОГМ застосування конструкторських методів підвищення зносостійкості [120, 152] дозволяє: оптимізувати геометрію і форму РОГМ та РЕ; оптимізувати локальні області і робочі поверхні, які підлягають зміцненню; ввести в конструкцію (якщо це можливо) легкозмінні елементи; передбачити резервування зносостійкості в деталях РОГМ; розробити систему контролю зносу РОГМ; забезпечити реалізацію ефекту самоорганізації при різних варіантах і типів зміцнення та модифікування матеріалів РОГМ.

Ефективність конструкторських заходів реалізують переважно на стадії виготовлення і застосування технологічних методів підвищення зносостійкості оптимізацією параметрів обробки з можливістю керування ступеню зміцнення локальних областей і робочих поверхонь РОГМ в цілому.

Насьогодні для виготовлення активних і пасивних РОГМ застосовують [1, 4]: матеріали з високою твердістю – сталі карбідних класів, які зміцнюють методами ТО, ХТО, ТМО; спеціальні чавуни, леговані хромом, марганцем, вольфрамом, нікелем; сталі та чавуни з аустенітно-карбідною структурою, в яких аустеніт нестабільний і здатний до мартенситного перетворення в процесі тертя; проводять зміцнення КМ (КП). Але відомо [260], що чим вища твердість матеріалу, тим більша його крихкість, а тому використання таких матеріалів обмежується умовами експлуатації РОГМ, особливо це стосується умов динамічних навантажень, які викликають об'ємне руйнування.

Для технологічних методів зміцнення РОГМ найчастіше використовують наплавлення [67, 261]: ручне газове твердими сплавами; дугове порошковою стрічкою; багатоелектродне електрошлакове; плазмове; індукційне, лазерне та ін. Технологія наплавлення повинна забезпечувати рівномірність шару твердого сплаву по товщині і властивостям (зносостійкість, міцність), рівномірність розподілення пор і тріщин, що переходять із твердого сплаву в основний метал. При виробництві РОГМ майже 90 % усіх наплавочних робіт виконуються при індукційному нагріванні СВЧ [8, 262, 263], що пояснюється: високою продуктивністю процесу; достатньою якістю наплавленого шару за хімічним складом, щільністю, структурною однорідністю і шорсткістю поверхні; можливістю одержання тонких шарів наплавленого металу (до 0,3 мм). При цьому наплавлювальні сплави повинні мати мінімальну магнітну проникність і температуру плавлення на 150...200 К нижче температури плавлення основного металу. До таких сплавів відносяться сормайт у виді гранульованого порошку (ПГ-С27), ФБХ-6-2, псевдосплави типу ПС із високими наплавочними властивостями і зносостійкістю [264]. Але поряд з перевагами, індукційне наплавлення має недоліки: об'ємний термічний вплив може викликати знеміцнення матеріалу основи; спосіб не дає можливості зміцнювати локальні ділянки робочої поверхні деталі; номенклатура зміцнюваних деталей залежить від геометричної конфігурації індукторів [8]; висока енергоємність індукційного наплавлення та ін.

Більш широке застосування останнім часом знаходять технологічні процеси зміцнення, що базуються на використанні КПЕ [258, 264, 265], що дозволяє по-новому розв'язувати задачі підвищення експлуатаційних характеристик поверхневого шару деталей, до яких можна віднести: лазерну, плазмово-дугову,

електронно-променеви, електроімпульсний, іонно-вакуумні види обробки, плазмові і детонаційні напилення, іонна імплантація та ін. Ці методи пов'язані безпосередньо з використанням спрямованих потоків речовини і енергії фізичних полів для зміни властивостей поверхневого шару матеріалу РОГМ. До їх основних особливостей можна віднести [258, 265]: висока концентрація енергії, що вводиться в зону впливу; локальність і прецизійність обробки; специфіка впливу потоку енергії на розвиток фізичних та фізико-хімічних процесів у поверхневому шарі; ефективне використання енергії при суттєво менших її сумарних витратах; скорочення тривалості обробки та суміщення окремих видів обробки; практична відсутність інструменту, а отже і його зносу, а також механічного контакту з деталлю, яка обробляється, що забезпечує мобільність в керуванні та можливість широкого регулювання режимів обробки у поєднанні з простим позиційним її розміщенням; можливість використання прогресивних видів сучасного обладнання, як оброблювані центри, роторні лінії, робототехнічні комплекси, гнучкі і автоматизовані системи та ін.

При зміцненні РОГМ з використанням КПЕ відбуваються три послідовні взаємозв'язані стадії [266, 267]: поверхневі процеси – топохімічні реакції, міжмолекулярна взаємодія, поверхнева дифузія, міграція домішок та інші; об'ємні процеси – тепломасоперенос; зародження й ріст нових фаз, утворення хімічних сполук. Інтенсивність і повнота протікання перелічених процесів визначається характеристиками і властивостями матеріалів покриття, поверхневого шару та основного металу РОГМ: хімічним складом, характером зв'язку між атомами в кристалічній ґратці, структурою, теплофізичними характеристиками, розмірними параметрами, а також умовами нагрівання й охолодження та характеристиками зовнішнього середовища.

Найбільший практичний і науковий інтерес серед технологій з використанням КПЕ являють лазерні технології [258, 266, 268, 269], що мають наступні можливості:

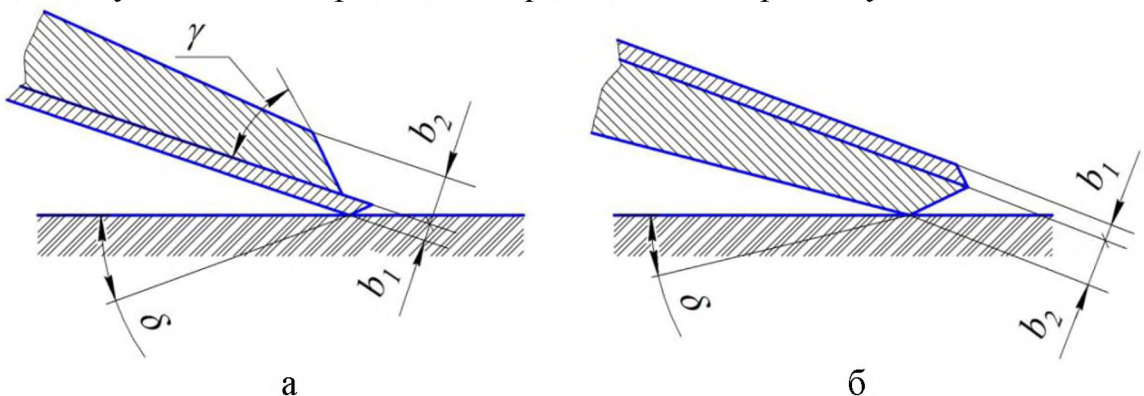
- проводити безперервну, імпульсну та імпульсно-періодичну обробку робочої поверхні деталей;
- цілеспрямовано змінювати густину потужності лазерного випромінювання (ЛВ) та обробляти поверхні як з оплавленням, так і без оплавлення;
- здійснювати локальність впливу (діаметр плями (доріжки) від 0,5 до 10 мм і вище, глибина зони лазерного впливу до 1...2 мм);
- забезпечувати суцільну і дискретну обробку лазерним променем;
- застосовувати для широкої номенклатури деталей й виконувати обробку важкодоступних місць деталей без погіршення якості;
- забезпечувати низький рівень залишкових напружень матеріалу після лазерної обробки (ЛО);
- використовувати високу транспортабельність лазерного променя та застосовувати автоматизоване керування всіма параметрами ЛО та ін.

Перелічені можливості ЛВ дозволяють отримати широкий спектр технологічних схем зміцнення деталей і РОГМ [268, 270, 271, 272]. Разом з тим вплив ЛВ на РОГМ, використання локального характеру їх обробки у відповідності до вибіркового характеру зношування, створення умов

самоорганізації форми РЕ та зміцнених поверхневих шарів потребують ретельних експериментальних досліджень та теоретичного обґрунтування.

Аналіз методів підвищення зносостійкості [36, 273], показав, що конструкція РОГМ змінилася порівняно мало і вдосконалення, в основному, йшло за рахунок підбору матеріалів, методів їх обробки та поліпшення геометричної форми. Разом з тим працездатність, особливо РОГМ з РЕ, залишається дуже низькою, що позначається на продуктивності праці в СГВ. Результати досліджень, наведені в роботах [26, 32, 122, 148], свідчать, що основним засобом вирішення цієї проблеми є створення самозагострювальних РЕ РОГМ, які володіють наступними перевагами: технологічні операції протягом терміну експлуатації виконуються з однаковими достатньо високими якісними показниками; усуваються прості і втрати часу на регулювання та ремонт затуплених РЕ; зменшуються витрати запасних частин та ін. РЕ, в основному, складається з двох шарів, матеріали яких значно відрізняються по зносостійкості [33, 206, 271]. Різальний шар, товщина якого встановлюється залежно від агротехнічних вимог, виготовлюється з більш зносостійкого матеріалу, а другий шар – є несучим і виготовляється з відносно м'якого матеріалу, призначення якого оберігати різальний шар від поломок.

Вся складність отримання самозагострюваного РЕ, полягає в необхідності зберігати достатню гостроту його профілю в процесі експлуатації [274]. Сама ж форма профілю двошарового РЕ при зношуванні, як показали дослідження [7, 35], залежить від співвідношення тиску ґрунту на різних ділянках РЕ, зносостійкості матеріалів шарів і їх товщини та зношеної здатності ґрунту. Вибір мінімальної товщини різальної кромки РЕ РОГМ повинен бути пов'язаний з економічно доцільними термінами служби РОГМ, а максимальний – з агротехнічними вимогами до якості їх роботи. РЕ РОГМ має лицьову (верхню) і тильну (нижню) сторони [35]. Залежно від варіанту розташування зносостійкого шару (рис. 1.15), процес зношування двошарового РЕ протікатиме по-різному.



а – перший варіант – зносостійкий шар знизу; б – другий варіант – зносостійкий шар зверху; b_1 , b_2 – відповідно товщина зміцненого і несучого шарів.

Рисунок 1.15 – Схеми варіантів двошарових самозагострювальних РЕ РОГМ

Якщо шар зносостійкого матеріалу знаходиться на нижній стороні РЕ, то верхній м'який шар інтенсивно зношується, відбувається процес самозагострювання першого роду (рис. 1.17, а). При другому варіанті

розташування шару зносостійкого матеріалу (рис. 1.17, б), великого виступання РЕ не спостерігається [28, 35]. Нижній шар з м'якого матеріалу у цьому випадку також служить для забезпечення міцності РЕ, але він впливає на працездатність РОГМ більшою мірою і зношується під дією тиску ґрунту з боку дна борозни. На ньому утворюється затилкова фаска, яка, завдяки захисній дії зносостійкого шару, має менший кут нахилу δ до дна борозни, ніж затилкова фаска на однорідному РЕ стандартного РОГМ. Такий двошаровий РЕ у визначених умовах може тривало працювати. Важливими при цьому є процеси тертя і зношування РОГМ, НДС матеріалу РОГМ і прилеглого до нього шару ґрунту, переміщення частинок ґрунту по робочій поверхні РОГМ та енергетична характеристика – тяговий опір.

Узагальнення відомих експериментальних даних [35, 275] показує, що понизити енерговитрати, інтенсивність процесів тертя та зношування можна зменшивши кут постановки робочої поверхні РОГМ до дна борозни, але перспективним напрямом є варіанти локалізації напружень на клині РОГМ. Аналіз методів ефективного підвищення зносостійкості та якості обробітку ґрунту із зниженням енерговитрат свідчить, що в переважній більшості вони пов'язані з використанням закономірностей взаємодії РОГМ з ґрунтом, зміни НДС та триботехнічних характеристик, але це потребує ретельних експериментальних та теоретичних досліджень ТТС "РОГМ-ґрунт". При виявленні закономірностей взаємодії елементів цієї системи, контролі, керуванні та регулюванні процесів і станів в ній необхідно врахувати наступне:

- наявність агротехнічних показників та засобів постійного вимірювання параметрів, характеристик та властивостей матеріалів РОГМ і ґрунту;
- використання сукупності параметрів РОГМ, які можна регулювати в певних межах, впливаючи на показники і властивості ґрунту;
- математичні, фізичні та реологічні моделі опису зміни НДС ґрунту, взаємодії РОГМ з ґрунтом та динаміки зміни їх триботехнічних характеристик;
- техніко-економічна ефективність способів зміцнення РОГМ з реалізацією ефекту самоорганізації та мінімальними питомими витратами енергії.

Висновки по розділу 1

Проведений аналіз умов експлуатації, типів, механізмів та природи процесів тертя та зношування матеріалів деталей і РОГМ, методів їх зміцнення та модифікування дозволив установити наступне:

1. Зміцнення деталей і РОГМ при їх виготовленні за різними методами і варіантами є важливим резервом підвищення ефективності їх використання та економії матеріальних, паливо-енергетичних ресурсів, оскільки їх довговічність залишається низкою – ресурс складає в середньому не більше 80% запланованого. Різноманіття факторів та їх сукупності обумовлює підсилення увагу до розвитку фундаментальних і прикладних досліджень закономірностей АЗ деталей СГТ і РОГМ в різних умовах експлуатації: при взаємодії з ґрунтом, у запиленому повітрі, при терті деталей в оливі, що містить пилоподібні АЧ та ін. Механізм АЗ досить складний і уявлення про нього, як про просте дряпання матеріалу деталей

АЧ, приводить до помилкових конструктивних та технологічних рішень при виборі матеріалу і методів його зміцнення, а тому потребує врахування характеру впливів АЧ на поверхні тертя деталей і РО, їх конструктивних характеристик, складу, щільності та властивостей, впливу кожної складової гетерофазного середовища ґрунту на зношування поверхневого шару деталей і РОГМ та умов їх експлуатації.

2. Механізм тертя та зношування РОГМ, що мають РЕ, обумовлює використання сучасних методів і методик дослідження закономірностей взаємодії робочих поверхонь з АЧ ґрунту, процесів затуплення і самоагострювання для прогнозування змін триботехнічних характеристик і характеру формоутворення, виявлення умов реалізації процесів і станів самоорганізації в ТТС "РОГМ-ґрунт", розробки методології розв'язання проблеми підвищення зносостійкості на основі системно-спрямованого підходу і синергетичної концепції та трибофізичного обґрунтування динаміки змін процесів і станів матеріалів елементів ТТС.

3. Нові відомості про природу і механізм зношування неминуче приведуть до створення більш ефективних методів підвищення зносостійкості деталей і РОГМ КМ (КП) з урахуванням модифікуючого впливу КПЕ та комплексу процесів, що протікають в зоні тертя. Стійкість КМ (КП) до зношування визначається чинниками, що запобігають деформації зміцнених ПШ. Найменш інтенсивною формою їх руйнування є механіко-хімічне зношування. У даний час не розроблено трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей і РОГМ КМ (КП) та модифікування їх робочих поверхонь лазерними технологіями, теоретично не розглянуті питання, що стосуються зміни характеристик і властивостей при нанесенні КМ (КП) та подальшій їх експлуатації при терті та зношуванні, не виявлені при цьому умови самоорганізації ТТС, не встановлені шляхи і методи керування міжфазною взаємодією компонентів КМ (КП), що не дозволяє реалізувати їх високі триботехнічні характеристики.

4. Для визначення дійсних значень і прогнозування зносостійкості різних матеріалів деталей і РОГМ у конкретних умовах експлуатації необхідно створити адекватні фізичні та математичні моделі механізму та інтенсивності зношування їх робочих поверхонь. При проведенні досліджень механізму АЗ необхідно забезпечити повну відповідність головних параметрів процесу зношування експлуатаційним умовам. Такими параметрами стосовно до РОГМ є твердість і геометричні характеристики АЧ, швидкість їх ковзання, щільність та тиск на поверхню тертя. В інших випадках необхідно враховувати агресивність середовища, кут атаки й інші фактори. Оптимальною мікроструктурою твердого сплаву, що працює в умовах ударного навантаження, є високолегований твердий розчин, тому при розробці нових технологій зміцнення і модифікування необхідно прагнути до максимального зміцнення твердого розчину і до зниження кількості, твердості і розмірів частинок карбідів, оксидів, боридів або подібних їм фаз. Виявлено, що матеріали зі структурою мартенситного типу чинять високий опір АЗ при значному вмісті легуючих елементів, що забезпечує високу хімічну стійкість і теплостійкість.

5. Структури, що являють собою механічну суміш різних фаз, мають підвищену зносостійкість і міцність при високій дисперсності твердих

наповнювачів. Диспергування карбідів приводить до утворення квазігомогенних структур, що підвищують опір сплаву динамічним навантаженням. На підставі залежності від вмісту наповнювачів для умов не рівноважних процесів тертя та зношування можна рекомендувати застосування КМ (КП), у яких вміст твердих включень (наповнювачів) складає 30 % і більше. Перспективним є застосування псевдосплавів, одержуваних при індукційному та лазерному наплавленні, у яких властивості і їх вміст можна регулювати, довівши мікротвердість сплаву до 62...65 HRC_E. Аналіз різноманіття факторів та їх сукупності при терті та зношування деталей, спряжень агрегатів та машин в цілому викликає необхідність підсилити увагу до розвитку фундаментальних і прикладних досліджень процесів і станів самоорганізації в ТТС з метою відшукування новітніх більш ефективних методів зміцнення деталей і РОГМ.

6. При взаємодії РОГМ з ґрунтом найбільше зношуються носок горизонтальних та вертикальних РЕ, величина і характер зносу яких залежить від їх форми і розміщення. Особливу увагу слід звернути на процеси взаємодії поверхневого шару деталей і середовищ ґрунту, на виявлення закономірностей спрацювання РЕ, їх затуплення і самозагострювання, що обумовлює використання сучасних методів і методик дослідження. В дослідженнях тертя та зношування робочих поверхонь РОГМ недостатньо приділяється уваги різним видам зношування та їх питомій вазі. Виявлено, що без встановлення закономірностей зношування РОГМ, ефективна їх експлуатація неможлива, якщо не враховані стан, властивості та основні характеристики ґрунту як багатофазного гетерогенного середовища. Практично не досліджено вплив фаз ґрунту на закономірність зносу РОГМ. Оскільки знос РЕ у реальних умовах експлуатації РОГМ є величиною перемінною по товщині, ширині і довжині, тобто має вибірковий локальний характер, то при використанні технологій зміцнення РОГМ доцільним є диференціальний підхід та функціонально-спрямоване зміцнення.

Під час дії РОГМ на ґрунт спостерігається зміна його стану та фізико-механічних властивостей, порушується його початкова структура, деякі прилеглі до РОГМ шари ґрунту ущільнюються, а деякі розпушуються. Вплив цих процесів на тертя та зношування РОГМ, виявлення НДС ґрунту і поверхневого шару матеріалу РОГМ, переміщення частинок ґрунту по робочій поверхні РОГМ та його тяговий опір, як складової енергетичної характеристики, являються важливими при встановленні закономірностей взаємодії і керуванні триботехнічними характеристиками елементів в специфічній триботехнічній системі "РОГМ-ґрунт".

7. Основним засобом вирішення проблеми підвищення зносостійкості і ефективності РОГМ з РЕ є створення самозагострюваних РЕ, які в процесі зношування зберігали б свою працездатність і не вимагають додаткового загострення. Найбільш ефективним є методи зміцнення РЕ КМ (КП) та із застосуванням лазерних технологій, які варто обирати з урахуванням основних закономірностей механізму зношування в умовах експлуатації. Варіюючи режимами технологій зміцнення можна керувати процесами зношування РЕ РОГМ й створювати умови для розвитку і протікання процесів їх самозагострювання.

В монографії представлені методологія та способи підвищення

зносостійкості деталей та робочих органів ґрунтообробних машин на основі трибофізичного обґрунтування закономірностей зміни характеристик, властивостей і станів їх матеріалів при терті та зношуванні та середовищ, в яких вони працюють.

Для реалізації поставленої мети вирішувались наступні основні завдання:

- з'ясувати особливості природи, механізму і закономірностей тертя та зношування ресурсовизначальних деталей і РОГМ та проаналізувати сучасний стан теорії та практики проблеми підвищення їх зносостійкості;

- розробити методологію розв'язання проблеми підвищення зносостійкості РОГМ та визначити методи і методики дослідження процесів і станів функціонування її триботехнічних систем;

- теоретично обґрунтувати характер еволюції триботехнічних систем при експлуатації та з'ясувати умови реалізації різних форм процесів і станів самоорганізації їх елементів;

- теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити доцільність підвищення зносостійкості деталей і РОГМ композиційними матеріалами і покриттями та лазерними технологіями зміцнення і модифікування;

- виявити закономірності взаємодії, динаміки і механізму тертя та зношування в ТТС " РОГМ -ґрунт", дати трибофізичне обґрунтування та з'ясувати можливості підвищення їх зносостійкості та надійності;

- розробити принципи та технологічні схеми реалізації функціонально-спрямованого зміцнення елементів ТТС, керування їх станами і процесами та дати трибофізичне та техніко-економічне обґрунтування вибору методів зміцнення і модифікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Список використаних джерел до розділу 1

1. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування; За ред. М.І.Черновола/П.В.Сисолін, В.М.Сало, В.М.Кропівний.–К.:Урожай,2001. – 384 с.
2. Тененбаум М.М. Износостойкость и долговечность сельскохозяйственных машин/ М.М. Тененбаум, С.Н. Шамшетов. – Нукус: Каракалпакстан,14386.–150 с.
3. Любимов А.И. Обобщенная математическая модель функционирования почвообрабатывающих агрегатов/ А.И. Любимов, Р.С. Рахимов, В.Г. Янкелевич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. Деп. в ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш., М., 1989. –14 с.
4. Сисолин П.В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование/П.В. Сисолин, Л.В. Погорелый. – К.: Феникс, 2005.–264с.
5. Лоренц В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин / В.Ф. Лоренц – М.: Машгиз, 1948. – 100 с.
6. Чихос Х. Системный анализ в трибонике / Х. Чихос. Пер. с англ. С.А. Харламова. – М.: Мир, 1982. – 352 с.
7. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / [М. М. Севернев, Н. Н. Подлекарев, В. Ш. Сохадзе, В. О. Китиков]; под ред. М. М. Севернева. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 333 с.
8. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев. – М. Машиностроение, 1995. – 336 с.
9. Алисин В.В. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой для узлов трения, содержащих наноструктурированные ЧСЦ кристаллы / В.В Алисин, А.А. Владиславлев, М.Н. Роцин // Качество: теория и практика. М.: РДК-ПРЕСС, 2006. – С. 198-202.
10. Аулін В.В. Вибіркове зношування робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин як відображення стохастичної природи їх взаємодії з частинками ґрунту / В.В. Аулін, В.А. Настоящий, А.А. Тихий / Зб. наук. праць Укр. держ. академії залізн. транспорту . – 2014. – Вип. 148. – С.25-33.
11. Аулін В.В. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко та ін. // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. /Вип. 158. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків. – 2015.-С.252-262.
12. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке машин. Часть 2. Износ материалов. Классификация видов износа, методов и машин для лабораторного испытания материалов на износ машины и производственные на них исследования/ А.К. Зайцев, Машгиз: М.-Л.,1947.- 220 с.
13. Зайцев А.К. Основы учения отрении, износе и смазке машин. Часть 3 Износ машин. Износ машин и деталей и способы борьбы с их износом/ А.К. Зайцев, М.Л: Машгиз,-1947.-164с.

14. Основы трибологии (трение, износ, смазка). / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше, и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
15. Наумов С.Л. Исследование сопротивления материалов абразивному изнашиванию/С.Л. Наумов, Киев: Тр. КИГВФ, 1960. – 24с.
16. Наумов С.Л. О сущности и условиях возникновения абразивного изнашивания материалов. /С.Л. Наумов.- Киев: КИГВФ, 1960. – 24с.
17. Тарасов С.Ю. Структурные изменения в металлических материалах в условиях адгезионного трения: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.01. "Материаловедение в машиностроении" / С.Ю. Тарасов. – Томск, 2008. – 36 с.
18. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга /Д.Б.Бернштейн//Тракторы и сельхозмашины.–2002.–№ 6.– С.40-45.
19. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание/ В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, М.Г. Колокольников. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
20. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов / А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
21. Икрамов У. Механизмы и природа абразивного изнашивания/ У. Икрамов. – Ташкент: ФанУзССР, 1979. – 132 с.
22. Мюретти И. Механизм абразивного изнашивания/ И. Мюретти //Проблемы трения и смазки. – 1982. – №1. – С. 9 - 16.
23. Богданович П.Н. Изнашивание твердых тел: монография. / П.Н. Богданович – Гомель: Бел. ГУТ, 1998 – 304 с.
24. Дьяченко С.С. Физические основы прочности металлов / С.С. Дьяченко, В.Б. Рабухин. – Харьков: Вища школа, 1982. – 200с.
25. Сироткин В.М. Разработка теории и метода оценки механического воздействия на почву почвообрабатывающих машин и орудий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства"/ В.М. Сироткин.- Чебоксары, 2001. -42 с.
26. Винокуров В.Н. Определение выбраковочных параметров режущих элементов рабочих органов, почвообрабатывающих машин и орудий / В.Н. Винокуров, А.К. Малов, В.В. Копанов // Тракторы и сельхозмашины, 1976. – №10. – С.23-25.
27. Винокуров В.Н. Повышение износостойкости культиваторных лап путем обеспечения их самозатачивания. / В.Н. Винокуров // Повышение надежности и долговечности сельскохозяйственных машин: сборник. – М., 1964. – С. 369–375.
28. Ахметшин Т.Ф. Повышение износостойкости и долговечности стрельчатых лап культиваторов: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства техн. обслуживания в сельском хозяйстве" / Т.Ф. Ахметшин. – НПО ВИСХОМ, М., 1988. – 20 с.
29. Канивец И.Д. Исследование износа лап культиваторов с однородными и наплавленными сормайтом лезвиями в условиях черноземных почв центральной степи УССР: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве"/ И.Д. Канивец. – Днепропетровск, 1964. – 143 с.

30. Подкатилов К.Е. Динамические исследования рабочих органов культиваторов повышенной прочности и износостойкости с нижним и верхним упрочнением твердыми сплавами. автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / К.Е. Подкатилов. – Ростов-на-Дону. – 1969. – 21 с.
31. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания почворезущих элементов при абразивном изнашивании / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – №6. – С. 15-19.
32. Прокопцев П.И. Статистическая динамика изнашивания режущих элементов: модели, управление и прогноз / П.И. Прокопцев // Тракторы и сельхозмашины. – 2000. – № 8. – С.14-20.
33. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин/ А.Ш. Рабинович. – М. ГОСНИТИ, 1962. – 107 с.
34. Багиров И.З. Исследование деформации и сопротивления грунта при взаимодействии с клином при различных скоростях: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.20.01 "Механизация сельскохоз. производства"/И.З.Багиров. – Минск, 1963. – 18с.
35. Новиков В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: спец. 05.20.03 – технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / В.С. Новиков – М., 2009. – 38 с.
36. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
37. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А.Ф. Вадюнина, З.Л. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
38. Капов С.П. Основные принципы построения модели разрушения почвенной среды / С.П. Капов, С.Г. Мударисов // Тракторы и сельскохоз. машины. – 2005. – №6. – С.30-32.
39. Мамбеталин К.Т. Почва и ее тайны/ К.Т. Мамбеталин. Челябинск, 2000. – 100 с.
40. Босенко Н.С. Система "почва-почвообрабатывающий агрегат" как двухуровневая модель сложной системы/ Н.С. Босенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – №2. – С.9-11.
41. Качинский П.А. Почва ее свойства и жизнь/П.А.Качинский–М.:Наука, 1975 – 295с.
42. Мударисов С.Г. Принципы разработки адаптирующихся рабочих органов почвообрабатывающих машин/С.Г. Мударисов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2005. – №6. – С. 10-11.
43. Головчан В.Т. О параметрах микроструктуры трехфазного композитного материала / В.Т. Головчан // Сверхтвердые материалы, 2009. – №2. – С. 17-21.
44. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) / Д.Н. Гаркунов // 4-е изд. переработано и дополнено. – М.: МСХП, 2001. – 616 с.
45. Адуов М.А. Модель процесса взаимодействия клина с почвой / М.А. Адуов, С.Н. Капов, Е.Ж. Каспаков // Вестник науки Казахского аграрного университета им. С. Сейфуллина. – Астана. – 2009. – №4(55). – С.238-245.
46. Баган М.С. Модель почвенного пласта/ М.С.Баган//Вестник ЧГАУ, 2001. –

Т.34.–С.64-67.

47. Ветохин В.И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий / В.И. Ветохин // Техніко-технол. аспекти розвитку та випроб. нової техніки і технологій для сільськ. госп. України: Зб. науков. праць. –Дослідницьке: УкрНДППВТ ім.Л.Погорілого.–2009,Вип.13(27),Кн.2.–С.30-38.

48. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание/М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.

49. Попов В.С. Металловедческие аспекты износостойкости сталей и сплавов – 3/ В.С. Попов. – Запорожье, 1996. – 180 с.

50. Попов В.С. Теоретические основы многокритериального анализа изнашивания сталей и сплавов//Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин. – Запорожье: Изд-во ОАО "Мотор Сич", 2000. – С.360-389.

51. Крагельский И.В. Трение и износ/И.В. Крагельский.– М.:Машиностроение,1968.–480 с.

52. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа. – М: Машиностроение, 1987. – 288 с.

53. Зазимко О.В. Закономерности механохимических процессов при абразивном изнашивании сталей: дис. канд. техн. наук: спец 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / О.В. Зазимко. – Киев, 1985. – 221 с.

54. Костецкий Б.И. Качество поверхности и трение в машинах / Б.И. Костецкий, Н.В. Колениченко. – К.: Техніка, 1969. – 215 с.

55. Любимов Б.Я. Диссипативные процессы в кристаллах с дислокациями / Б.Я.Любимов, Л.В.Матвеев // Прикл. механ. и техн. физика. – 1993. – Т. 34, № 4. – С. 154-160.

56. Ребиндер П.А. Поверхносные явления в дисперсных. Физико-химическая механика /П.А. Ребиндер, Избранные труды. М.:Наука, 1979. - 384с.

57. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении /Б.И. Костецкий и др. – Киев: "Техника", 1976. – 296 с.

58. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И.Костецкий. – К.: "Техника", 1970. – 304 с.

59. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин/ Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1984. – 20 с.

60. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа/Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1981. – 31 с.

61. Белый А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, Н.К. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

62. Becher P.F. Use of ceramic tool for machining nickel base alloys/ P.F. Becher, N. Richards, Aspinwall // Int. J. Mach. Tools Manuf. –1989.– Vol. 29. – N 4. P. 575-588.

63. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов: монографія/Г.А. Ванин. – К.: Наук. думка, 1985. – 304с.

64. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов/Г.М. Сорокин– М.:ОАО"Недра",2000.–317с.

65. Бондаренко В.П. Триботехнические композиты с высоко модульными наполнителями / В.П. Бондаренко. – К.: Наук. думка, 1987. – 232 с.
66. Белоусов В.Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами / В.Я. Белоусов. – Львів: Вища школа, 1984. – 180 с.
67. Бородин И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями / И.Н. Бородин. – М.: Машиностроение, 1982. – 141 с.
68. Савуляк В.І. Наукові засади формування на сплавах заліза композиційних металокарбідних шарів зі стабільними структурами та підвищеними триботехнічними характеристиками: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 / В.І. Савуляк; НАН України. Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича. – К., 2004. – 39 с.
69. Федорченко И.М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И.М.Федорченко, Л.И. Пугина. – К.: Наукова думка, 1980. – 404 с.
70. Харламов Ю.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела / Ю.А.Харламов, М.А.Будагьянс. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.
71. Suh N.P., The delamination theory of wear-III/ N.P.Suh and coworkers//Wear, Vol.1, -1978 – P1-162.
72. Suh N.P., The delamination theory of wear-II/ N.P.Suh et al//Massachusetts Institute of Technology, 1975. – 158p.
73. Suh N.P., The delamination theory of wear/ N.P.Suh// Wear, Vol.25 - №1 – 1973 – P 11-124.
74. Ashby M.F. Engineering Materials/ M.F. Ashby, D.R.H. Jones// Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996. – 322p.
75. Влияние композиционных покрытий на качество приработки и износостойкость трущихся сопряжений автотракторных двигателей / [Маликов И.И., Иванов В.Д., Котягов Л.Ф. и др.]. – Трение и износ, 1985. – Т. VI, № 1. – С. 125-132.
76. Канович М.З., Трофимов Н.Н. Сопротивление композиционных материалов: монография. / М.З. Канович, Н.Н. Трофимов – М.:Мир, 2003. – 504 с.
77. Композиционные материалы. Справочник / Под ред. Д.М. Карпиноса. – К.: Наукова думка, 1985. – 592 с.
78. Ковальский А.В. Напряженное состояние и изнашивание композиционных материалов при трении: дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах", спец. 05.16.06"Порошковая металлургия и композиц. М-лы"/А.В.Ковальский.–Киев,1987.–189 с.
79. Сороков С. Кластерний підхід до розрахунку фізичних характеристик композитних матеріалів / С. Сороков. Львів: Ін-т фізики конденс. систем НАНУ, 2003. – 23 с.
80. Иваночкин П.Г. Контактные задачи для узлов трения с двухслойными композициями триботехнического назначения: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра техн. наук: спец.01.02.04 "Механика деформируемого твердого тела", 05.02.04 "Трения и износ в машинах"/ П.Г. Иваночкин. – Ростов-на Дону, 2009. – 38с.
81. Герланд Дж. Разрушение композитов с дисперсными частицами в металлической матрице. Композиционные материалы/Дж. Герланд. – М.:Мир, 1976. - С.105-130.
82. Композиционные порошки с ультрадисперсной структурой лакирующего слоя // [Гелейшвили Т.П., Трусков Л.И., Гвердцители И.Г. и др.]. –

Доклады АН СССР. – 1985. – Т.280, № 4. – С. 854-857.

83. Прибытков Г.А. Межфазный массоперенос на границе металлов и тугоплавких соединений с металлическими расплавами и его роль в формировании структуры композиционных материалов и покрытий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.16.01 "Материаловедение и обработка металлов" / Г.А. Прибытков – Томск, 2002. – 40 с.

84. Соколовская Е.М. Физикохимия композиционных материалов / Е.М. Соколовская, Л.С. Гузей. – М.: Моск. ун-та, 1978. – 256 с.

85. Бабушкин Г. А. Металлические композиты / Г.А. Бабушкин, В.Я. Буланов, И.А. Сеницкий. – Свердловск: УНУ АН СССР, 1987. – 312 с.

86. Кузьменко А.Г. Дослідження зносоконтактної взаємодії змащених поверхонь тертя: монографія / А. Г. Кузьменко, О. В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.

87. Кузьменко А.Г. Контактная механика и износостойкость смазанных трибосистем: монография / А. Г. Кузьменко, А. В. Дыха, О. П. Бабак. – Хмельницький: ХНУ, 2011. – 250 с. – (Теоретическая и экспериментальная трибология: в 12 т.; т. 8 (1)).

88. Берсудский А.Л. Моделирование напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при упрочнении с покрытием / А.Л. Берсудский, О.А. Логинов // Вестник Самарского госуд. университета. Естественно-научная серия. – 2003. – №4(30) – С.103-111.

89. Любичева А.Н. Контактное взаимодействие и изнашивание неоднородных тел: дисс. ... канд. физ-мат. наук: спец. 01.02.04 "Механика деформированного твердого тела" / А.Н. Любичева. – М.: 2005. – 88 с.

90. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

91. Воробьев В.А., Илюхин А.В. Математическое моделирование в компьютерном материаловедении // Российская академия архитектуры и строительных наук/ Вестник отделения строительных наук. – 1999. Вып. 2. –С.117-125.

92. Александров Е.Е. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей: монография / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лысиков и др. – Х.: НТУ "ХПИ", 2006. – 544 с.

93. Девойко О.Г. Создание композиционных покрытий на основе смесей с использованием лазерного нагрева / О.Г. Девойко, М.А. Кардаполова // Сб.науч.работ ПГТУ. – Новополюк, 2003. – С.141-144.

94. Бледных В.В. Основные закономерности процесса движения почвы по трехгранному клину/ В.В. Бледных // Динамика почвообрабатывающих машин и агрегатов: Науч. тр. ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1982. - С. 4-14.

95. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин/ Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1984. – 20 с.

96. Крагельский И.В. Трение и износ/И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

97. Попов В.С. Износостойкость сталей и сплавов/ В.С. Попов, Н.Н. Брыков.- ВПК "Запоріжжя", 1996. - 180с.

98. Прокопцев П.И. Динамика формоизменения режущего элемента при изнашивании: анализ и управление/П.И. Прокопцев// Тракторы и сельхозмашины.– 1997. – №8.– С.18-21.
99. Прокопцев П.И. Статистическая динамика изнашивания режущих элементов: модели, управление и прогноз/П.И. Прокопцев// Тракторы и сельхозмашины.– 2000. – №8.– С.14-20.
100. Прокопцев П.И. Формула самозатачивания режущих элементов / П.И. Прокопцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – №9. – С.26-28.
101. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов./ С.С. Вялов.- М. Высш. школа, 1978. - 447 с.
102. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов/ М.Н. Гольдштейн. - М.: Стройиздат. 1971. С.195-197.
103. Икрамов У., Махкамов К. Расчет и прогнозирование абразивного износа/ У. Икрамов. – Ташкент: ФанУзССР, 1982. – 147 с.
104. Кашеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел/ В.Н. Кашеев. – М.: Наука, 1970. – 247с.
105. Костецкий Б. И. Механические процессы при граничном трении/ Б. И. Костецкий, М. Э. Натансон, Л. И. Бершадский. — М.: "Наука", 1972 - 170 с.
106. Оура К. Введение в физику поверхности / К. Оура, В.Г. Лифинов, А.А. Саранин, А.В. Зотов, М. Катаяма: [отв. ред. В.И. Сергиенко]: ин-т. автоматике и процессов упр. ДВО РАН. – М.: Наука, 2006. – 490с.
107. Аулін В.В. Вибіркове зношування робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин як відображення стохастичної природи їх взаємодії з частинками ґрунту / В.В. Аулін, В.А. Настоящий, А.А. Тихий / Зб. наук. праць Укр. держ. академії залізн. транспорту. – 2014. – Вип. 148. – С.25-33.
108. Баган М.С. Модель почвенного пласта/ М.С. Баган // Вестник ЧГАУ. - т.34. - Челябинск, 2001. - С.64-67.
109. Багиров И.З. Исследование деформации и сопротивления грунта при взаимодействии с клином при различных скоростях: автореф. дис. канд.техн. наук.: 05.20.01 "Механизация сельскохозяйственного производства"/ И.З. Багиров. - Минск, 1963. -18 с.
110. Беликов И. А. Повышение долговечности рабочих органов плуга керамическими материалами: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: спец. 05.20.03" Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве"/ И. А. Беликов.- М., 2002. – 18 с.
111. Бледных В.В. Структурно-логическая модель строения почвенной среды/ В.В. Бледных, С.Н. Капов, Е.А. Устинова// Вестник ЧГАУ. - т.25. – Челябинск. 1998. – С. 71-85.
112. Босенко Н.С. Система "почва - почвообрабатывающий агрегат" как двухуровневая модель сложной системы/ Н.С. Босенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003.- №2. - С.9-11.
113. Бурченко П.Н. Техническое обеспечение совершенствования технологий обработки почвы/ П.Н. Бурченко// Земледелие.- 2001.- №1.-С.5-6.
114. Волошко Н.И. К методике проектирования многослойных лезвий.

Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Луганськ. Вид.-во ЛНАУ, 2006.- №64 (87).- С 85-90.

115. Грибановский А.П. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров плоскорезных орудий, их разработка и внедрение. Дис. докт. техн. наук. Челябинск, 1983. -340 с.

116. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / Под.ред. И.М.Федорченко и др. - К.: Наукова думка, 1985.-745 с.

117. Артем А.Н. Оптимизация параметров рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин / А.Н. Артем // Совершенствование технологий и технических средств в АПК.-Барнаул, 2001.- С. 55-57.

118. Кондратьев Е.Т. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин/Е.Т. Кондратьев, В.Е. Кондратьев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 95 с.

119. Прокопцев П.И. Статистическая динамика изнашивания режущих элементов: модели, управление и прогноз/П.И. Прокопцев// Тракторы и сельхозмашины.– 2000. – №8.– С.14-20.

120. Anon. Nie war das Angebot so gross wie heute. //Lohnuntemehmen in Land- Forstwirtschaft, 1990; Т. 45. N 2, - S. 101-103.

121. Каплун Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин/Г.П. Каплун. – Минск: Изд. Академии сельскохозяйственных наук БССР, 1966.– С.54-68.

122. Прочность материалов и конструкций / Ред.кол.: В.Т.Трощенко (отв. ред.) и др. – К.: Академперіодика, 2005. – 1088 с.

123. Lee J.; Yamazaki M.; Oida A.; Nakashima H.; Shimizu H. Field performance of proposed foresight tillage depth control system for rotary implements mounted on an agricultural tractor/ J. Lee; M. Yamazaki; A. Oida; H. Nakashima; H. Shimizu //J.Terramechan., 2000; Vol.37,N 2,-P. 99-111.

124. Путрин А.С. Определение оптимальных значений конструктивно технологических параметров адаптивных рабочих органов с использованием математического моделирования состояния реакции почвы/ А.С. Путрин // Юбилейн. сб. тр. ученых Оренбург .гос. аграр. ун-та. -Оренбург, 2000.- С.301-307.

125. Баранов В.В. Рекуррентные методы оптимальных решений в стохастических системах / В.В.Баранов. – Харьков: Вища школа, 1981. – 145 с.

126. Аулін В.В. Контактна взаємодія РОГМ з ґрунтом при врахуванні його реологічних властивостей/ В.В. Аулін, А.А. Тихий// Матеріали III Міжнар. наук. – техн. конф. «Сучасні проблеми триботехніки» 7-9 жовтня 2009 р. – Миколаїв: НУК, 2009.-С 72-74

127. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность). / Д. Н. Гаркунов. – М.: Изд. НСХА, 2001. – 616 с.

128. Мишин П.В. Адаптивное использование почвообрабатывающих агрегатов/П.В. Мишин // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2001.- №5.- С.24-25.

129. Van Muysen W., Govers G., Van Obst K. Identification factors in the process of tillage erosion: the case of mouldboard tillage/ W. Van Muysen, G. Govers,

K. Van Obst // Soil Tillage Res., 2002; Vol.65,Nl,-P.77-93.

130. Астахов А.С. Применение технической керамики в сельскохозяйственном производстве/ А.С. Астахов, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев.– М.: Агропромиздат, 1988.- 64 с.

131. Аулін В.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегій технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, А.В. Гриньків // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/. – вип. 28. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С 126-131.

132. Аулін В.В. Напружено-деформований стан поверхневих шарів гомогенних і гетерогенних матеріалів при терті і зношуванні / В.В. Аулін/ Сучасні проблеми триботехніки / М-ли міжн. наук. техн. конф. 27-29 вересня. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 83-86.

133. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения/Ахматов А.С.– М.:Физ-матгиз,1963.–452с.

134. Шевеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости/В.В. Шевеля, В.П. Олександренко. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – 278 с.

135. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов/ Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.

136. Аулін В.В. Врахування реологічних властивостей ґрунтів при їх взаємодії з РОГМ/В.В. Аулін, А.А. Тихий// Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/–вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 291-296

137. Аулин В.В. Аномалия структурных превращений и массопереноса в металлах при лазерном воздействии/В.В.Аулин, Н.М.Боранбаева, С.Д.Звонков//Сб. трудов 11-й Дальневосточной шк.-семинар по физ. и хим. твёрд. тела.Благовещенск:1988.–Т.2.–С.66-70.

138. Новиков В.С. Повышение износостойкости рабочих органов плуга наплавкой керамическими материалами/ В.С. Новиков, И.А. Беликов // Ремонт, восстановление, модернизация. – №11. – 2002. – С.37-40.

139. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем/Е.Е. Бибик. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981.- 172 с.

140. Аулін В.В. Фазовий склад ґрунтового середовища та його зношувальні властивості /В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №2 – С.91-99.

141. Der praktische Landwirt: Boden, Pflanze, Tier, Technik, Bauweisen hrsg./von Hildegart Dorfler.- Munchen: BLV Verl. -Ges.; Frankfurt (Main):DLG -Verlag; Mtmster-Hiltrup: Landwirtschaftsverl.; Wien: Osterr. Agrarverl; Wabem bem: BUGRA Suisse, 1990, -583s.

142. Аулін В.В. Залежність інтенсивності зношування деталей від технологічних факторів лазерної обробки / В.В.Аулін, С.М.Лізунов, В.М.Бобрицький // Вісник ХДГУСГ. – Вип.15. "Підвищення надійності відновлюємих деталей машин". – Харків, 2003. – С.101-105.

143. Косте Ж. Механика грунтов / Пер. с франц./ Ж. Косте, Г. Санглера.- М.: Стройиздат, 1989.-455 с.
144. Кушнарєв А.С. Механіко-технологічні основи обробки ґрунту/ А.С. Кушнарєв, В.І. Кочєв. - Київ.: Урожай, 1989. -144 с.
145. Бєліков І. А. Повищення довговічності робочих органів плуга керамічними матеріалами: авторєф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: спец. 05.20.03" Технології і засоби технічного обслуговування в сільському господарстві"/ І. А. Бєліков.- М., 2002. – 18 с.
146. Сальніков В. Я. Повищення режущої здатності самозатачуючихся лезвій/В. Я. Сальніков //Повищення надійності і довговічності сільськогосподарських машин. Матеріали всесоюзної науково-технічної конференції. Під редакцією Клецькіна М. І. - М.: - ВИСХОМ. – 1964. - 630с.
147. Новіков В.С. Пути підвищення надійності робочих органів ґрунтообробуючих машин/В.С. Новіков, І.А. Бєліков// Научні трудові Російської інженерної академії менеджменту і агробізнесу, випуск 2, - М.: РІАМА, 2000. - С. 124-128.
148. Бєрнштейн Д.Б. Оцінка можливості самозатачування ґрунтообробуючих елементів при абразивному зношенні /Д.Б. Бєрнштейн//Трактори і сільхозмашини.–1985.–№6.–С. 15-19.
149. Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум - 2012", 6-10 червня 2012, – Ялта., т. 12. – С.60-62.
150. Маяускас І. С. Влияние давления ґрунту на износ рабочих органов ґрунтообробуючих машин/ І. С. Маяускас // Вестник машиностроения, 1958. — №10. — С. 18 — 32.
151. Канівец І.Д. Исследование износа лап культиваторов с однородными и наплавленными сормайт-лезвиями в условиях черноземных ґрунтов центральной степи СССР: Дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технології і засоби технічного обслуговування в сільському господарстві"/ І.Д. Канівец. – Днепропетровск, 1964. – 143 с.
152. Севернев М.М. Износ деталей сільськогосподарських машин/ М.М. Севернев. - Л.: Колос, 1972.–288 с.
153. Аулін В.В. Величина і характер зношування РОГМ при різній глибині обробки / В.В. Аулін, А.А. Тихий, В.М. Бобрицький / Зб. тез м-лів між нар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум – 2012", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.54-56.
154. Виноградов В.И. Деформация ґрунту под воздействием рабочего органа культиватора-плоскореза/ В.И. Виноградов, Н.В. Иванов // Тр. ЧИМЭСХ / Эксплуатация и обслуживание машинно-тракторного парка: вып. 100. - Челябинск, 1975.- С.32-39.
155. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування методу і системи діагностування стану мобільної сільськогосподарської техніки / В. В. Аулін, А.В. Гриньків // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. /Вип. 163. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2015.-С.39-44..

156. Надежность и ремонт / В.В.Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; под. ред. В.В.Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
157. Kuczewsky J. Analiza zaleznosci oporu jednostkowego pluga odkszaltu jego powierzchni roboczej/ J. Kuczewsky, J. Bialek//Problemy technici rolniczej i lesnej. - Warszawa, 2002; Cz. 2, -S.283-288.
158. Методы испытаний на трение и износ: Справ. изд. / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001.– 152 с.
159. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене / М. І. Черновол, В. Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола. – Кіровоград: КОД, 2010.– 320 с.
160. Розенбаум А. Н. Исследование изнашивания слойных сталей для рабочих органов почвообрабатывающих орудий/ А. Н. Розенбаум // Повышение надежности и долговечности сельскохозяйственных машин. Материалы всесоюзной научно- технической конференции. Под редакцией Слепкина М. И. - М.: - ВИСХОМ. — 1964.-630с.
161. Тененбаум М.М. Влияние материалов и расположения армирующего слоя на износостойкость, остроту и прочность лезвий полольных рабочих органов/М.М. Тенебаум, Т.Ф. Ахметшин, В.И. Гасилин // Экспресс-информ ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш.–Сер.2 – Сельхозмашины и орудия. – Вып.2.–М., 1987– 8с.
162. Foley A.G. The use of aluminiio ceramic to reduce wear of soilengaging components/ A.G. Foley, P.J. Lauton// J. agric. Engug.Res.–1984.–Vol.30.–N. 1.–P.273-279.
163. Новиков В.С. Анализ и обоснование применимости технической керамики в сельскохозяйственном машиностроении/ В.С. Новиков, Н.И. Нилон, И.А. Беликов// Научные труды Российской инженерной академии менеджмента и агробизнеса, выпуск 3. - М.: РИАМА, 2001. - С. 47 - 54.
164. Основные виды продукции Торезского завода наплавочных твердых сплавов. -Донецк: Облполиграфиздат, 1987. - 29 с.
165. Крагельский И.В. Фрикционные колебания/И.В.Крагельский, Н.В.Гитис . – М.: Наука, 1987 – 181с.
166. Владимиров В.И. Проблемы физики трения и изнашивания / В.И. Владимиров В.И. // Трение, износ, смазка, www.trbo.ru. – 2008. – Т.10, №2. – С.7-31.
167. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах/Н.А. Буше. – М.:Транспорт,1987.–223с.
168. Гарбар И.И., Кисель А.С. Прочность фрагментированных структур в поверхностном слое и в объеме металла/И.И.Гарбар, А.С.Кисель//Доклады АН СССР. Сер. Техн. физика.- 1991. Т.- 318. №6. - С.1381-1385.
169. Костецкий Б.И. Механические процессы при граничном трении/ Б. И. Костецкий, М.Э. Натансон, Л.И. Бершадский. – М.: "Наука", 1972. – 170 с.
170. Костецкий Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И.Костецкий//Трение и износ.–1980.– Т.1,№4.–С.622-637.
171. Костецкий Б.И. Расчет интенсивности изнашивания при нормальном

трении. / В кн.: Применение новых материалов, заменителей и систем смазки в узлах трения машин и оборудования/ Б.И. Костецкий, О.В. Зазимко, А.М. Зелинский. – Воронеж, 1986. – С.35-38.

172. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении/ Б.И. Костецкий //Трение и износ, 1985. – Т.VI, №2. – С.201-212.

173. Шевеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости: монография / В. В. Шевеля, В. П. Олександренко. – ХНУ, 2006. – 278 с.

174. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976 – 176 с.

175. Олемской А.И. Синергетика конденсированной среды / А.И. Олемской, А.А. Кацнельсон. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 336 с.

176. Ванаг В.К. Диссипативные структуры в реакционно-диффузионных системах / В.К.Ванаг. – М. – Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2008. – 300 с.

177. Пашинский В.В. Гетерогенность структуры и диссипация энергии в металлических материалах: монография / В.В. Пашинский. – Донецк: ВИК, 2008. – 285 с.

178. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В.Эбелинг. – М.: Мир, 1979. – 279 с.

179. Гершман И.С. Самоорганизация вторичных структур при трении / И.С. Гершман, Н.А. Буше, А.Е. Миронова, В.А. Никифоров // Трение и износ (Friction and wear).–2003.–Т.24,№3.–С.329-334.

180. Гороховский Г.А. Поверхностное диспергирование динамически контактирующих полимеров и металлов / Гороховский Г.А. – Киев: Наук, думка, 1972. – 152с.

181. Kruse H. Bisherige Forschungsarbeiten am tribologischen system Kolben–Kolbenring-Zylinder / H.Kruse, U.Todsен//Tribologie+Schmierungstechnik.– 1986.–No 2.– P.90-98.

182. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации: монография / Г.Николис, И.Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.

183. Пригожин И.Р. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И.Р. Пригожин, Д. Кондеруди. – М.: Мир, 2002. – 319 с.

184. Гершман И.С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах / И.С. Гершман, Н.А.Буше//Трение и износ.– 1995.–Т.16,№1.–С.61-70.

185. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В.Эбелинг. – М.: Мир, 1979. – 279 с.

186. Кравец И.А. Ремонтная регенерация трибосистем / И.А.Кравец. – Тернополь: Бережанский агротехн. ин-т, 2003. – 284 с.

187. Кравец И.А. Энергетика бессервисных систем / И.А. Кравец, В.В. Щепетов, С.Л. Максимов, Я.Н. Гладкий // Проблемы трибологии. – 2002. – №2. – С. 12-14.

188. Кузнецов В.Д. Поверхносная энергия твердых тел/В.Д. Кузнецов – М.:

Гостоптехиздат, 1954.–220с.

189. Давиденков Н.Н. Динамическая прочность и хрупкость металлов/Давиденков Н.Н. – М. – 1981. – 699 с.

190. Дубинин А.Д. Энергетика трения и износа деталей машин: монография / А.Д. Дубинин. Киев: МАШГИЗ, 1963. – 139 с.

191. Фёдоров С.В. Основы трибоэргодинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости / С.В.Фёдоров. – Калининград: КГТУ, 2003. – 415с.

192. Фёдоров В.В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твёрдых тел / В.В.Фёдоров. – Ташкент: НАУКА, 1979. – 186с.

193. Протасов Б.В. Энергетическое соотношение в трибосопряжении и прогнозирования его долговечности /Б.В.Протасов – Саратов: изд. Саратов. ун-та, 1979–152с.

194. Фляйшер Г.К. К связи между трением и износом / Г.К. Фляйшер // Контактное взаимодействие и расчет сил трения и износа. М., 1971. – С. 163-169.

195. Погодаев Л.И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л.И. Погодаев. – СПб.: Академия транспорта, 2006. – 608 с.

196. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении/[В.С.Иванова, А.С.Баланкин, И.Ж.Бунин, А.А.Оксогоев]. – М.: Наука, 1994. – 383 с.

197. Бершадский Л.И. Основы теории структурной приспособляемости и переходных состояний трибосистем и ее приложение к задачам повышения надежности зубчатых и червячных передач: Дис. ... д-ра техн. наук / Л.И. Бершадский. – К., 1982. – 328 с.

198. Материаловедение и конструкционные материалы / Л.С. Пинчук, В.А. Струк, Н.К. Мышкин, А.И. Свириденко. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 461 с.

199. Физическое металловедение / Под ред. Р.К. Кана, вып.3. – М.: Мир, 1968. –484с.

200. Триботехническое материаловедение и триботехнология / Н.Е. Денисова, В.А. Игорин, М.Н. Гонтарь и др. – Пенза: ПГУ, 2006. – 248 с.

201. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения / Шпеньков Г.П. – Минск:БГУ,1978.–208с.

202. Андрейкив А.Е. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин / А.Е. Андрейкив, М.В. Чернец. – К.: Наук. думка, 1991. – 160 с.

203. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии./ Д. Бакли. М.: Машиностроение, 1986. – 360 с.

204. Беркович И.И. Теоретические основы фрикционного взаимодействия дисперсных материалов с твердой поверхностью: монография / И.И. Беркович, А.Н. Болотов, Ю.И. Морозов. – Тверь: ТвГТУ, – 2012. – 92 с.

205. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия: монография /И.Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478 с.

206. Рахимов И.Р. Совершенствование рабочих органов машин для основной обработки почвы на основе моделирования процесса взаимодействия клина с почвой: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского

хозяйства" / И.Р. Рахимов. – ЧГАУ, Челябинск, 2006. – 196 с.

207. Соучек Р. Закономерности взаимодействия рабочих органов с почвой как основа их автоматизированного проектирования: Учеб. пособие/ Р. Соучек, Г. Дьяченко. – Ростов н/Д, 1991. – 110 с.

208. Алтоиз Б.А. Физика приповерхностных слоев / Б.А.Алтоиз, Ю.М.Поповский. – Одесса: Астропринт, 1995. – 153 с.

209. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. В 10 т., Т.V. Статическая физика. Ч.1. – 5-е изд. стереотип. – М.: Физматлит, 2002. – 616 с.

210. Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. 624 с.

211. Баранов А.В. Явления самоорганизации при трении металлов / А.В. Баранов // Ползуновский альманах. – 2003. – №4. – С.130-131.

212. Быстрой Г.П. Термодинамика открытых систем / Г.П.Быстрой. – Екатеринбург : УрГУ, 2007. – 312 с.

213. Дудоров А.Е. Уравнение динамики и кинетики дислокаций при высоких скоростях пластической деформации / А.Е. Дудоров, А.Е. Майер // Вестник Челябинского государственного университета. – 2011. – Вып. 12. – С.48-56.

214. Миронюк Г.И. Математическое моделирование кинетики процессов безыносного трения / Г.И. Миронюк, Т.В. Терновая, И.Н. Карнаухов // Мат. методы і фіз.-мех. поля. – 1995. – Вып. 38. – С. 105-108.

215. Доблер В.И. Повышение эксплуатационной надежности двигателей дорожных и строительных машин трибологическим контролем состояния и активаций моторных масел: автореф. дисс. на соиск. уч. степени. канд. техн. наук: 05.05.04. "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" / В.И. Доблер. – Томск, 2005. – 23с.

216. Кернер Б.С. Самоорганизация в активных распределенных средах (сценарии спонтанного образования и эволюции структур) / Б.С.Кернер, В.В.Осипов // Успехи физич. наук. – 1990. – Т.60, вып. 9. – С. 3–73.

217. Сахаров А.Н. Влияние фазового перехода в металле на распределение примеси при лазерной активации процессов диффузионного массопереноса / А.Н. Сахаров // Физика и химия обработки материалов. – 1991. – №4. – С. 53-59.

218. Sheasby J.S. A recinprocating wear test for evaluating boundary lubrication. / J.S.Sheasby, T.A.Caughlin, A.G.Blahey //Tribology International.-Vol.23.-1990,P.301-308.

219. Захаров С.М. Влияние движущей силы, созданной внешним воздействием, на диффузионный массоперенос в твердом теле / С.М. Захаров, Л.Н. Лариков, Р.Л. Межевинский // Металлофизика и новейшие технологии. – 1995. – Т.171, №1. – С. 30-35.

220. Боуден Ф. Р. Трение и смазка твердых тел / Ф.Р. Боуден, Д.М. Тейбор: Под ред. д-ра техн. наук И.В.Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 544с.

221. Adirovich E. On the Forces of Dry Friction./E.Adirovich, D.Blokhinzev// J.Phys. USSR. - 1943, V 7, № 1, P.29-36.

222. Крысов С.В. Волновые процессы при контактных взаимодействиях подвижных сопряжений в упругих элементах машин и конструкций: автореф. дис. наук. степени канд. физ.-мат. наук: спец. 01.02.06 – "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры"/С.В. Крысов. – Москва, 1992. – 23с.

223. Бородай А.В. О процессах самоиндукции в трибосистемах / А.В. Бородай // Трение и смазка в машинах и механизмах. – М.: Машиностроение. – 2007. – № 2. – С. 3-10.
224. Бершадский Л. И. Самоорганизация и надежность трибосистем / Л.И. Бершадский – Киев, 1981. – 35 с.
225. Бершадский Л.И. Основы теории структурной приспособляемости и переходных состояний трибосистем и ее приложение к задачам повышения надежности зубчатых и червячных передач: Дис. ... д-ра техн. наук / Л.И. Бершадский. – К., 1982. – 328 с.
226. Бершадский Л.И. Структурная термодинамика трибосистем / Л.И. Бершадский. – К.: Знание, 1990. – 30 с.
227. Воробьев В.А., Илюхин А.В. Математическое моделирование в компьютерном материаловедении // Российская академия архитектуры и строительных наук/ Вестник отделения строительных наук. – 1999. Вып. 2. –С.117-125.
228. Praca naukowo badawcza. Laboratoryjne i eksploatacyjne badania teflonowego SLIDER 2000. WSI w Radomiu. Radom. 1993. – 36p.
229. Андрианов И.В. Асимптотическая математика и синергетика: путь к целостной простоте / И.В.Андрианов, Р.Г.Баранцев, Л.И.Маневич. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с.
230. Гершман И.С. Синергетика процессов трения / И.С. Гершман // Трение, износ, смазка. – 2009. – Т.12, №40. – С.1-8.
231. Ершов С.В. Синергетика. Новые направления. Нелинейные волны: Физика и астрофизика / [С.В. Ершов и др.]. – М.: Наука, 1993. – С. 306–319.
232. Князева Е.Н. Основания синергетики. Синергетическое мировидение / Е.Н.Князева, С.П.Курдюмов. – СПб.: "Алетейя", 2002. – 414 с; – М.: КомКнига, 2005. – 240 с.
233. Ермолаев Ю.Л. Электронная синергетика/Ю.Л.Ермолаев,А.Л.Санин.– Л.:ЛГУ,1989.-215 с
234. Иванова В.С. Синергетика и фракталы. Универсальности механического поведения материалов / В.С.Иванова,И.Р.Кузеев,М.М.Закирничная.– Уфа:УГГТУ,1998.–363с.
235. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего /С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: Наука, 1997. – 285 с.
236. Акимов И.А. Математическое моделирование теплофизических процессов в многослойных конструкциях с фазовыми переходами: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.13.18 "Математическое моделирования, численные методы и комплексы программы" / И.А. Акимов. – Санкт-Петербург, 2007. – 32с.
237. Гиттерман М. Фазовые превращения: Краткое изложение и современные приложения / М.Гиттерман, В.Хэлперн. – М.: – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютерных исследований, 2006. – 128 с.
238. Дайсон Ф. Устойчивость и фазовые переходы/Ф.Дайсон и др.– М.:Мир,1973.–373с.
239. Мартынов Г.А. Проблема фазовых переходов в статистической механике

/ Г.А. Мартынов // Успехи физических наук. – 1999. – Т.169, № 6. – С.595-624.

240. Табачникова Т.И. Перекристаллизация фазовые и структурные превращения в сталях в неравновесных условиях: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.16.01. "Металловедение и термическая обработка металлов" / Т.И. Табачникова. – Екатеринбург, 2008. – 46с.

241. Bak P. Self-organized criticality: An explanation of the 1/f noise / P.Bak, C.Tang, K.Wisenfeld // Phys. Rev. Lett. – 1987. – V. 59. – P. 381–384.

242. Вакс В.Г. Кинетические явления в упорядочивающихся сплавах / В.Г. Вакс // Соросовский общобразовательный журнал. – 1997. – №8. – С.105-115.

243. Машков Ю.К. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю.К. Машков, К.Н. Полещенко, С.Н. Поворознюк, П.В. Орлов. – М.: Наука, 2000. – 280 с.

244. Машков Ю.К. Трибология конструкционных материалов. Омск: ОмГТУ, 1996. – 299 с.

245. Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 240 с.

246. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

247. Бурлакова В.Э. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трения и износ в машинах", 02.00.04. Физическая химия" / В.Э. Бурлакова. – Ростов-на-Дону, 2006 – 42 с.

248. Федоров С.В. Общие закономерности эволюции трения с позиций самоорганизации и синергизма / С.В. Федоров. – Калининград: КГТУ, 2007. – №11. – С.11-21.

249. Быстров В. Н. Избирательный перенос при трении – новые возможности при изготовлении и использовании машин / В.Н.Быстров // Эффект безызносности и триботехнологии. – № 1. – 1992. – С. 17-33.

250. Кужаров А.С. Координационная трибохимия избирательного переноса: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.С.Кужаров. – Ростов-на-Дону: РИИСХ, 1991. – 513 с.

251. Куксенова Л. И. Смазочные материалы и явление избирательного переноса при трении / Л. И. Куксенова, А. А. Поляков, Л. М. Рыбакова // Вестник машиностроения. – 1990. – №1. – С. 35-40.

252. Зенкин М.А. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий: Монография / М.А. Зенкин, В.И. Копылов. – К.: 2002. – 272 с.

253. Трофимов Н.Н. Основы создания полимерных композитов: монография / Н.Н. Трофимов, М.З. Канович. – М. Наука, 2000. – 583с.

254. Воронин Н.А. Топокомпози́ты триботехнического назначения: аномалии структурной прочности / Н.А.Воронин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – №11. – С.24-32.

255. Мельниченко И.М. Восстановление и повышение долговечности

подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники с использованием композиционных материалов и покрытий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук / И.М. Мельниченко. – Челябинск, 1992. – 31 с.

256. Курапов П.А. Трение и работоспособность сопряжений в условиях использования микрогетерогенных смазочных композиций: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д.-ра техн. наук: спец.05.02.04 "Трения и износ в машинах"/П.А.Курапов – Москва, 2011. – 39с.

257. Спиридонов Н.В. Влияние лазерного нагрева на износостойкость композиционных материалов / Н.В. Спиридонов, М.А. Кардаполова, О.Г. Девойко // Трение и износ. 1998. – Т.9, №1. – С. 47-52.

258. Семёнов А.П. Методы и средства упрочнения поверхностей деталей машин концентрированными потоками энергии/А.П. Семёнов,И.Б.Ковш,И.М. Петрова.–М.:Наука,1992.–404 с.

259. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессе их эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник нац. техн. университета "ХПИ". – Х.: НТУ "ХПИ". – 2006. – №25. – С. 169-175.

260. Власов В.М. Работоспособность упрочнённых, трущихся поверхностей / В.М. Власов. – М.: Машиностроение, 1987. – 304с.

261. Износостойкие порошковые материалы с интерметаллидным упрочнением / Карапетян Г.Х., Акопов Н.Л., Карапетян Ф.Х. //Порошковая металлургия,1987.–№4.–С.75-79.

262. Головин Г.Ф. Технология термической обработки металлов с применением индуктивного нагрева / Головин Г.Ф., Зимин Н.В. – Л.: Машиностроение, 1990. – 254 с.

263. Сидоров С.А. Обоснование эффективных способов повышения работоспособности и износостойкости сферических дисков почвообрабатывающих машин: дисс. канд. техн. наук. 05.20.04 / С.А. Сидоров – М., 1996. – 320 с.

264. Дорожкин Н.Н. Импульсные методы нанесения порошковых покрытий / Н.Н. Дорожкин, Т.М. Абрамович, В.К. Ярошевич – Минск: Наука и техника, 1985. – 279 с.

265. Методы и средства упрочнения поверхностей деталей машин концентрированными потоками энергии / [А.П. Семенов, И.Б.Ковш, И.М. Петрова и др.]. – М.: Наука, 1992. – 404 с.

266. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: монография / А.Г. Григорьянц, Н.Н. Шиганов, А.И. Мисюров – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 312 с.

267. Гуреев Д.М. Основы физики лазеров и лазерной обработки материалов / Д.М. Гуреев, С.В. Ямщиков. – Самара: СамГУ, 2001. – 393с.

268. Бровер А.В. Самоорганизация поверхностных слоев металлических материалов при обработке концентрированными потоками энергии / А.В. Бровер, Л.Д. Дьяченко // Упрочняющие технология и покрытия. – 2007. – №3. – С.8-14.

269. Воздействие лазерного излучения на материалы / [Арутюнян Р.В., Баранов В.Ю. и др.]. – М.: Наука, 1989. – 367 с.

270. Веденов А.А. Физические процессы при лазерной обработке материалов

/ А.А. Веденов, Г.Г. Гладуш – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 207 с.

271. Приходько В.М. Металлофизические основы разработки упрочняющих технологий / В.М. Приходько, Л.Г. Петрова. О.В. Чудина. – М.: Машиностроение, 2003. – 384 с.

272. Хейфец М.Л. Структурный синтез и параметрическая оптимизация технологических комплексов, использующих концентрированные потоки энергии для комбинированной обработки / М.Л. Хейфец, В.А. Гайко, Е.З. Зевелева, В.И. Бородавко // Технологічні комплекси. – 2010. – №1. – С. 17-23.

273. Пригожин И. Время, хаос, квант: пер. с англ. / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1994. – 272 с.

274. Шустер Л.Ш. Разработка принципов повышения износостойкости режущих инструментов на базе положений неравновесной термодинамики / Л.Ш. Шустер, М.Ш. Миронов, И.С. Гершман, Г.С. Фукс-Рабинович // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – №4. – С.3-8.

Николаев В.А. Научное обоснование и разработка энергозберегающих технических средств обработки почвы: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / В.А. Николаев – Ярославль, 2011. – 46 с.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Аулін В.В. Фазовий склад ґрунтового середовища та його зношувальні властивості/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий// Міжнарод. научн. журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)" Хмельницький: ХНУ, 2009. – №2 – С.91-99

2. Аулін В.В. Зношувальна здатність ґрунтового середовища та закономірності спрацювання деталей РОГМ/ В.В. Аулін, А.А. Тихий// Міжнарод. науч. журнал «Проблеми трибології (Problems of Tribology)» Хмельницький. ХНУ, 2010. – №2 – С.6-10.

3. Сисолин П.В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование/ П.В. Сисолин, Л.В. Погорелый. – К.: Феникс, 2005. – 264 с.

4. Сисолин П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування; За ред. М.І.Черновола/ П.В. Сисолин, В.М. Сало, В.М. Кропівний.–К.: Урожай, 2001. – 384 с.

5. Аулін В.В. Врахування реологічних властивостей ґрунтів при їх взаємодії з РОГМ/ В.В. Аулін, А.А. Тихий// Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/–вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 291-296

6. Аулін В.В. Підвищення довговічності РОГМ, зміцненням їх за різними варіантами та реалізацією ефекту самозагострювання/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий //Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. /- вип.100.- Харків: ХНТУСГ, 2010.- С 158-165

7. Косте Ж. Механика грунтов / Пер. с франц./ Ж. Косте, Г. Санглера.- М.: Стройиздат, 1989.-455 с.
8. Обрызков Е.П. О влиянии абсолютной влажности почвы на износ лемехов/ Е.П. Обрызков // Сельхозмашины, 1955.–№ 6.–С.14-21.
9. Панченко А.М. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих машин и оценка их эффективности для энергосберегающей техники. Уч. Пособие ДГАУ/ А.М. Панченко, В.П. Штепа. - Днепропетровск, 1995 – 96 с.
10. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин/ М.М. Севернев. - Л.: Колос, 1972.–288 с.
11. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв/ А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. - М.: Агропромиздат, 1986.- 416 с.
12. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник/ О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.; За ред. С.С. Яцуна.– К.: Мета, 2003.–448 с.
13. Косте Ж. Механика грунтов / Пер. с франц./ Ж. Косте, Г. Санглера.- М.: Стройиздат, 1989.-455 с.
14. Воронин А.Д. Основы физики почв/ А.Д. Воронин. - М: МГУ, 1986. - 214с.
15. Каплун Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин/Г.П. Каплун. – Минск: Изд. Академии сельськохозяйственных наук БССР, 1966.– С.54-68.
16. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин/ Г.Н. Синеоков, И.М. Панов.- М.: Машиностроение, 1977. -328 с.
17. Циммерман М.З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин/ М.З. Циммерман. - М.; Машиностроение, 1978.-295 с.
18. Аулін В.В. Залежність зношувальних властивостей ґрунтів від їх фазового складу/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий// Зб. тез Міжнар. наук. – практ. конф. "Ольвійський форум"-2009: Стратегії України в геополітичному просторі.-Миколаїв: ЧДУ, 2009.-С. 65-67
19. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга/ Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины.– 2002.– №6.– С.40-45.
20. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания/ В.Н. Ткачев. – М. Машиностроение, 1995. – 336 с.
21. Каплун Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин/Г.П. Каплун. – Минск: Изд. Академии сельськохозяйственных наук БССР, 1966.– С.54-68.
22. Капов С.П. Модель почвенной среды/ С.П. Капов, Е.А. Устинова // Вестник ЧГАУ.- т.32.- Челябинск, 2000.- С. 22-23.
23. Мамбеталин К.Т. Почва и ее тайны/ К.Т. Мамбеталин. Челябинск, 2000. -100 с.
24. Панов А.И. Физические основы механики почвы/ А.И. Панов// Науч.тр. ВИМ.- Т.131.-2000.-С. 46-51.
25. Рейнер М. Реология /М. Рейнер. Пер. с англ. Н.И. Малинина, под. ред.

Є.И. Григолоука. – М.: Наука, 1965. – 223с.

26. Качинский П.А. Почва, ее свойства и жизнь/ П.А. Качинский. - М.: Наука, 1975. -295 с.

27. Лобачевский Я.П. Влияние сил трения и прилипания почвы на технологический процесс почвообрабатывающих рабочих органов/ Я.П. Лобачевский //Развитие технической базы агропромышленного комплекса. М., 2000.-С.47-53.

28. Соучек Р. Закономерности взаимодействия рабочих органов с почвой как основа их автоматизированного проектирования: Учеб. пособие/ Р. Соучек, Г. Дьяченко. -Ростов н/Д, 1991. - 110 с.

29. Маяускас И. С. Влияние давления почвы на износ рабочих органов почвообрабатывающих машин/ И. С. Маяускас // Вестник машиностроения, 1958. — №10. — С. 18 — 32.

30. Косте Ж. Механика грунтов / Пер. с франц./ Ж. Косте, Г. Санглера.- М.: Стройиздат, 1989.-455 с.

31. Грибановский А.П. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров плоскорезных орудий, их разработка и внедрение. Дис. докт. техн. наук. Челябинск, 1983. -340 с.

32. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский и др., под ред. В.Т.Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

33. Почвоведение. Типы почв, их география и использования/под ред. В.А.Ковда, Б.Т.Розанов – М.:Висшая школа, 1988. – 368с.

34. Воронин А.Д. Основы физики почв/ А.Д. Воронин. - М: МГУ, 1986. – 214с.

35. Баган М.С. Модель почвенного пласта/ М.С.Баган//ВестникЧГАУ,2001.– Т.34.–С.64-67.

36. Аулін В.В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом / В.В. Аулін, В.М. Каліч, А.В. Гриньків // Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 45, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С.28-36.

37. Аулін В.В. Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.120-126.

38. Аулін В.В. Характер та інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХДУ. – 2004. – №2 – С.107-112.

39. Мударисов С.Г. Принципы разработки адаптирующихся рабочих органов почвообрабатывающих машин/С.Г. Мударисов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2005.- №6.- С. 10-11.

40. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание/ В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, М.Г. Колокольников. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.

41. Утенков Г.Л. Адаптивный агрегат для основной обработки почвы. Ч.2/ Г.Л. Утенков, И.П. Добролюбов // Энергосбережение в сельском хозяйстве, М., 1988, с.42-43.

42. Попов В.С. Энергетический анализ процессов, происходящих в рабочей зоне сталей при изнашивании/В.С. Попов, Н.Н. Брыков, В.А. Гук // Физико-химическая механика материалов, 1975. – №4. – С. 24-29.
43. Путрин А.С. Основы проектирования рабочих органов для рыхления почв, находящихся за пределами физически спелого состояния. Дис. докт.техн. наук. Оренбург, 2003. -460 с.
44. Kouwenhowen J.K. Soil management by shallow mouldboard ploughing in the Nitfierlands/ J.K. Kouwenhowen, U.D. Perdok, G.J.M. Oomen //Soil Tillage Res., 2002; Vol. 65,iss.2,-P.125-139.
45. Kuczewsky J. Analiza zaleznosci oporu jednostkowego pluga odkszaltu jego powierzchni roboczej/ J. Kuczewsky, J. Bialek//Problemy technici rolniczej i lesnej. - Warszawa, 2002; Cz. 2, -S.283-288.
46. Дьяченко Г.Н. Характеристика почвы как объект механической обработки/Г.Н. Дьяченко, Р Соучек // Проектирование рабочих органов почвообрабатывающей и зерноуборочной техники. Межвуз. сб. Ростов н/Д, 1985. -С.8-20.
47. Бледных В.В. Структурно-логическая модель строения почвенной среды/ В.В. Бледных, С.Н. Капов, Е.А. Устинова// Вестник ЧГАУ. - т.25. – Челябинск. 1998. – С. 71-85.
48. Икрамов У., Махкамов К. Расчет и прогнозирование абразивного износа/ У.Икрамов. – Ташкент: ФанУзССР, 1982. – 147 с.
49. Горячкин В.П. Собрание сочинений/ В.П. Горячкин. Т.1-Т.3, М.: Колос, 1968. -720 с; 480 с; 360с.
50. Мударисов С.Г. Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой/ С.Г. Мударисов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2005.- №7.-С. 27-30.
51. Мяленко В.И. Моделирование процесса силового взаимодействия с почвой рабочих органов почвообрабатывающих орудий: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства"/ В.И. Мяленко. - Новосибирск, 1992. -45 с.
52. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении/ Б.И. Костецкий //Трение и износ, 1985. – Т. VI. – №2. – С.201-212.
53. Литвинов И.И. Диффузионная модель износа изделий/И.И. Литвинов, О.Т. Лосицкий, О.С. Филатов// Надежность и контроль качества. – 1974. – №2. – С.42-47.
54. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов/ Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
55. Ветохин В.И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий / В.И. Ветохин // Техніко-технол. аспекти розвитку та випроб. нової техніки і технологій для сільськ. госп. України: Зб. науков. праць. –Дослідницьке: УкрНДППВТ ім.Л.Погорілого.– 2009,Вип.13(27),Кн.2.–С.30-38.
56. Кушнарев А.С. Механико-технологические основы обработки почвы/ А.С. Кушнарев, В.И. Кочев. - Киев.: Урожай, 1989. -144 с.

57. Винокуров В.Н. Исследование изнашивания культиваторных лап и обоснование параметров, обеспечивающих их самозатачивание: Дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве"/ В.Н. Винокуров – М., 1963. – 131 с.

58. Self-organization during friction: advanced surface – engineered materials and systems design/edited by George E.Totten, German Fox-Rabinovich, Danvers: Taylor O Fransis, CRC Press, 2007.-459p.

59. Маяускас И. С. Влияние давления почвы на износ рабочих органов почвообрабатывающих машин/ И. С. Маяускас // Вестник машиностроения, 1958. — №10. — С. 18 — 32.

Список використаних джерел до розділу 3

1. Антонюк В.С. Определение оптимальной структуры дифференциальных покрытий / В.С. Антонюк, С.П. Вислоух, В.И. Миренко, А.В. Рутковский // Инженерия поверхности и реновация изделий. – Киев. – 2004. – С.20-24.

2. Аулін В.В. Зносостійкість гетерогенних композиційних матеріалів та покриттів в умовах абразивного зношування / В.В. Аулін // Праці Таврійської держ. агротехн. академії – Вип.39. – Мелітополь, ТДАТА, 2006. – С.38-43.

3. Аулін В.В. Особливості впливу лазерної обробки на матеріали деталей сільськогосподарської техніки при їх термозміцненні / В.В. Аулін, С.О. Магопечь, О.С. Магопечь, Т.М. Ауліна, С.М. Лізунов // Конструкція, виробництво та експлуатація сільськогосп. техн. / Вип. 34. – Кіровоград: КНТУ. – 2004. – С.229-233.

4. Аулін В.В. Особливості зміцнення конструкційних матеріалів у нерівноважних умовах їх обробки / В.В. Аулін, Є.К. Солових та ін. // Вісник ХДТУСГ. Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. – Вип. 4. – Харків. – 2000. – С.129-135.

5. Аулін В.В. Підвищення довговічності РОГМ, зміцненням їх за різними варіантами та реалізацією ефекту самозагострювання/В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий//Вісник ХНТУСГ /Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосп виробн. – Харків. – 2010. – №100 – С.158-165.

6. Аулін В.В. Підвищення зносостійкості деталей лазерним легуванням без оплавлення поверхні / В.В. Аулін, Т.М. Ауліна та ін. // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХДУ. – 2000. – №1. – С.3-6.

7. Аулін В.В. Підвищення надійності трибосистем реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін // М-ли ІІІ міжнар. наук.-техн. конф.: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009.-С 15-17.

8. Белоусов В.Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами / В.Я. Белоусов. – Львів: Вища школа, 1984. – 180 с.

9. Бородин И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями / И.Н. Бородин. – М.: Машиностроение, 1982. – 141 с.

10. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / [М. М. Севернев, Н. Н. Подлекарев, В. Ш. Сохадзе, В. О. Китиков]; под ред. М. М. Севернева. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 333 с.

11. Варавка В.Н. Материаловедческие основы прогнозирования структурной эволюции стали при импульсном термосиловом воздействии: автореф. дисс. на

соискания уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.01 – Материаловедение.– Москва, 2009.–37с.

12. Ляпунов А.М. Избранные труды. Работы по теории устойчивости / А.М.Ляпунов. – М.: Наука, 2007. – 574 с.

13. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов/Г.М. Сорокин– М.:ОАО"Недра",2000.–317с.

14. Приходько В.М. Металлофизические основы разработки упрочняющих технологий / В.М. Приходько, Л.Г. Петрова. О.В. Чудина. – М.: Машиностроение,2003.–384с.

15. Kuczewsky J. Analiza zaleznosci oporu jednostkowego pluga odkszaltu jego powierzchni roboczej/ J. Kuczewsky, J. Bialek//Problemy technici rolniczej i lesnej. – Warszawa, 2002; Cz. 2, – S.283-288.

16. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.

17. Войтов В.А. Моделювання процесів тертя та зношування у трибосистемах гідромашин як основа рішення задач проектування: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / В.А. Войтов; Технол. ун-т Поділля. – Хмельницький, 1999. – 35 с.

18. Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 240 с.

19. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах/Н.А. Буше. – М.:Транспорт,1987.–223с.

20. Виноградов Ю.М. Трение и износ модифицированных металлов/ Ю.М. Виноградов. – М.: Наука, 1972. – 151 с.

21. Владимиров В.И. Проблемы физики трения и изнашивания / В.И. Владимиров В.И. // Трение, износ, смазка, www.trbo.ru. – 2008. – Т.10, №2. – С.7-31.

22. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении /Б.И. Костецкий и др. – Киев: "Техника", 1976. – 296 с.

23. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа/Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1981. – 31 с.

24. Крагельский И.В. Трение и износ/И.В. Крагельский.– М.:Машиностроение,1968.–480 с.

25. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976 – 176 с.

26. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания / В.М. Найдыш // М.: Альфа – М; ИНФРА-М, 2004 – 622 с.

27. Бутковский О.Я. Нарушение симметрии при быстрых бифуркационных переходах / О.Я. Бутковский и др. // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1996.– Т.109,Вып. 6. – С. 2201–2207.

28. Дородницын В.А. Симметрия нелинейных явлений. Компьютеры и нелинейные явления. Информатика и современное естествознание /В.А.Дородницын, Г.Г.Еленин. – М.: Наука, 1988. – С. 123–191.

29. Ухтомский Д.А. Доминанта. Статьи разных лет / Д.А. Ухтомский. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.

30. Босенко Н.С. Система "почва-почвообрабатывающий агрегат" как двухуровневая модель сложной системы/ Н.С. Босенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – №2. – С.9-11.
31. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами/Л.Н.Волгин.-М.: Наука, 1986. – 210с.
32. Каток А.Б. Введение в современную теорию динамических систем / А.Б.Каток, Б.Хассельблат. – М.: Факториал, 1999. – 767 с.; М.: МЦНМО, 2005. – 464 с.
33. Короновский А.А. Нелинейная динамика в действии / А.А.Короновский, Д.И.Трубецков. – Саратов: Гос. УНЦ "Колледж", 2002. – 324 с.
34. Преображенский Н.Г. Динамика развития физики неравновесных систем / Н.Г.Преображенский // Единство физики. – Новосибирск: Наука, 1993. – С. 158–174.
35. Буданов В.Г. О методологии синергетики / В.Г.Буданов // Вопросы философии. – 2006. – № 5. – С. 79–94.
36. Принципы самоорганизации. Пер. с англ. А.Я. Лернера.–М.:Мир,1966. – 621 с.
37. Ершов С.В. Синергетика. Новые направления. Нелинейные волны: Физика и астрофизика / [С.В. Ершов и др.]. – М.: Наука, 1993. – С. 306–319.
38. Замота Т.Н. Развитие площади пятна контакта при макроприработке поверхностей трения / Т.Н. Замота, В.В. Аулин // Проблемы трибологии (Problems of tribology). Хмельницкий. ХНУ, 2012. – №1 – С.9-13.
39. Громаковский Д.Г. Трибология. Физические основы механики и технические приложения / Д.Г. Громаковский. – М.: Машиностроение, 2005. – 290 с.
40. Твердохлебов В.А. Нелинейность как доминанта Природы / В.А.Твердохлебов. // Российский химический журнал. – 2009. – Т.ЛIII, № 6. – С.3-6.
41. Заславский Г.М. Слабый хаос и квазирегулярные структуры / Г.М.Заславский и др. – М.: Наука, 1991. – 240 с.
42. Халил Х.К. Нелинейные системы / Х.К.Халил. – М. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2009. – 832 с.
43. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика и хаос. Основные понятия: учебное пособие / Г.Г.Малинецкий, А.Б.Потапов. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.
44. Мельников А.С. О нелинейной стадии спиноподобного распада в многослойных структурах/ А.С. Мельников и др. // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1996. – Т.109, – вып. 2. – С. 683-688.
45. Балакшин О.Б. Гармония саморазвития в природе и обществе: Подобие и аналогия / О.Б.Балакшин. – М.: ЛКИ, 2008. – 344 с.
46. Сороко Э.М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонии систем / Э.М.Сороко. – М.: КомКнига, 2006. – 264 с.
47. Эбелинг В. Физика процессов эволюции. Синергетический подход / В.Эбелинг, А.Энгель, Р.Файстель. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
48. Аулін В.В. Загальні закономірності еволюції та самоорганізації в трибосистемах / В.В. Аулін // Сучасні проблеми трибології: Тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. – К.:ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. – С.94.
49. Аулін В.В. Фізичні основи еволюції станів трибосистем та процесів

самоорганізації їх елементів / В.В. Аулін / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум - 2011", 8-12 червня 2011 – Ялта. – С.14-15.

50. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М.: УРСС, 2003. – 280 с.

51. Лебедев В.В. Флуктуационные эффекты в макрофизике / В.В.Лебедев. – М.: МЦНМО, 2004. – 218 с.

52. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации: монография / Г.Николис, И.Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.

53. Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции (теория стабилизирующего отбора) / И.И. Шмальгаузен. – М.-Л.: АН СССР. – 1946. – 396 с.

54. Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум - 2012 ", 6-10 червня 2012, – Ялта., т. 12. – С.60-62.

55. Аулін В.В. Системно-спрямований підхід та синергетична концепція реалізації процесів і станів самоорганізації матеріалів елементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобуд., автоматизація, вип. 27. – Кіровоград, 2014. – С.78-87.

56. Бершадский Л. И. Самоорганизация и надежность трибосистем / Л.И. Бершадский – Киев, 1981. – 35 с.

57. Безручко Б.П. Путь в синергетику. Экскурс в десяти лекциях / Б.П.Безручко и др. – М.: КомКнига, 2005. – 304 с.

58. Гершман И.С. Синергетика процессов трения / И.С. Гершман // Трение, износ, смазка. – 2009. – Т.12, №40. – С.1-8.

59. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего /С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: Наука, 1997. – 285 с.

60. Николис Г. Самоорганизация неравновесных систем: монография / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 635 с.

61. Пелюхова Е.Б. Самоорганизация физических систем / Е.Б.Пелюхова, Э.Е.Фрадкин. – СПб.: СПбГУ, 1997. – 324 с.

62. Полак Л.С. Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах/ Л.С.Полак, А.С.Михайлов. – М.: Наука, 1983. – 285 с.

63. Пригожин И.Р. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И.Р. Пригожин, Д. Кондеруди. – М.: Мир, 2002. – 319 с.

64. Стратонович Р.Л. Нелинейная неравновесная термодинамика / Р.Л.Стратонович. – М.: 1985. – 480 с.

65. Скотт Э. Нелинейная наука: рождение и развитие когерентных структур / Э.Скотт. – М. : Физматлит, 2007. – 560 с.

66. Емельянов С.В. Новые типы обратной связи: управление при неопределенности / С.В. Емельянов, С.К. Коровин. – М.: Наука, 1997. – 352 с.

67. Деева В.С. Устойчивость энтропийной оценки живучести систем / В.С. Деева, С.А. Романшина, С.М. Слободян // Изв. Томского политехнического университета. – 2013. – Т.322, №2. – С.67-72.

68. Мартюшов Л.М. Принцип максимального производства энтропии как

критерий отбора морфологических фаз при кристаллизации/ Л.М.Мартюшов, В.Д.Селезнёв // Доклады РАН. – 2000. – Т.371, № 4. – С. 466-468.

69. Дулесов А.С. Свойства энтропии технической системы / А.С. Дулесов, М.Ю. Семенова, В.И. Хрусталеv // Фундаментальные исследования. – 2011 – №8. – С. 631-636.

70. Бородай А.В. О процессах самоиндукции в трибосистемах / А.В. Бородай // Трение и смазка в машинах и механизмах. – М.: Машиностроение. – 2007. – № 2. – С. 3-10.

71. Бородай А.В. О фрикционном взаимодействии тел как индукционном и туннельном процессе / А.В. Бородай, А.В. Клименко, В.И. Пономарев // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. Спецвып. Проблемы трибоэлектрохимии. – 2005. – С. 36-42

72. Поляков А.А. К вопросу о синергетике, деформации, износе и энтропии металлических материалов // Материаловедение и термическая обработка металлов. – 1994. – №3. – С. 18-21.

73. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности. Вопросы управления сложными системами / И.В.Прангишвили. – М.: Наука, 2003. – 428 с.

74. Корольков Б.П. Термодинамические основы самоорганизации: монография / Б.П. Корольков. – Иркутск: ИрГУПС, 2011. – 120 с.

75. Куранов В.Г. Управление самоорганизацией трибосопряжений на основе их общих признаков и закономерностей / В.Г. Куранов, В.В. Куранов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – №4 – С.37-43.

76. Поляков С.А. Закономерности формирования структуры приповерхностных слоев трибосопряжений в связи с повышением их работоспособности на основе динамической адаптации к условиям эксплуатации: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.15.03 "Материаловедение", 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / С.А. Поляков. – М.: 2011. – 32 с.

77. Акимов И.А. Математическое моделирование теплофизических процессов в многослойных конструкциях с фазовыми переходами: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д.-ра техн. наук: спец. 05.13.18 "Математическое моделирования, численные методы и комплексы программы" / И.А. Акимов. – Санкт-Петербург, 2007. – 32с.

78. Бардзокас Д.И. Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры / Д.И. Бардзокас, А.И. Зобнин. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 376 с.

79. Берсудский А.Л. Моделирование напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при упрочнении с покрытием / А.Л. Берсудский, О.А. Логинов // Вестник Самарского госуд. университета. Естественно-научная серия. – 2003. – №4(30) – С.103-111.

80. Бледных В.В. Совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе математического моделирования технологических процессов: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.20.01 "Механизация сельскохозяйственного производства"/ В.В. Бледных. –

Л.: Пушкин, 1989. – 37 с.

81. Дмитриев А.И. Многоуровневое моделирование процессов трения и износа на основе численных методов дискретной и феноменологической теории / А.И. Дмитриев, А.Ю. Смолен, В.А. Попов и др. // Физическая мезомеханика, 2011. – Т.11, №4. – С. 15-24.

82. Лаврентьев А.А. Оптимизация модели упрочненного слоя при поверхностном упрочнении / А.А. Лаврентьев, И.Е. Рогов, С.Д. Анисимов, В.С. Ковалева // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т.9., №2 (41). – С.208-216.

83. Миронюк Г.И. Математическое моделирование кинетики процессов безыносного трения / Г.И. Миронюк, Т.В. Терновая, И.Н. Карнаухов // Мат. методы і фіз.-мех. поля. – 1995. – Вып. 38. – С. 105-108.

84. Мясенко В.И. Моделирование процесса силового взаимодействия с почвой рабочих органов почвообрабатывающих орудий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / В.И. Мясенко. – Новосибирск, 1992. – 45 с.

85. Физическая мезомеханика и компьютерное моделирование материалов / Под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Наука, 1995. – Т1. – 298 с., Т2. – 320 с.

86. Аулін В.В. Динамічна адаптація спряжень деталей до умов експлуатації з реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін / М-ли II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженер. механіки", 22-24 жовтня 2012р.–Миколаїв:НУК,2012.–С73-74.

87. Аулін В.В. Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.114-119.

88. Аулін В.В. Фізичні основи явищ самоорганізації і облітерації мастильних середовищ в зазорах трибосполучень деталей/В.В. Аулін//Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №4 – С.103-111.

89. Аулін В.В. Використання концентрованих потоків енергії при формуванні локальних зміцнених зон та композиційних покриттів на деталях машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батєхін // Машиностроение и техносфера XXI века / Сб. трудов XII междунар. научн.-техн. конф. в г. Севастополе 12-17 сентября 2005. – В 5-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – Том 1. – С. 30-33.

90. Мнацаканов Р.Г. Триботехнические характеристики смазочных материалов в неустановившихся условиях работы: Дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Киевский международный ун-т гражданской авиации / Р.Г. Мнацаканов. – К., 1998. – 491с.

91. Соболев С.Л. Локально-неравновесные модели процессов переноса / С.Л.Соболев // Успехи физических наук. – 1997. – Т.167, № 10. – С. 1095-1106.

92. Закалов А.В. Масштабно-энергетические закономерности структурной приспособляемости металлов при трении: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.В. Закалов. – Киев, 1985. – 264 с.

93. Костецкий Б.И. Качество поверхности и трение в машинах / Б.И. Костецкий, Н.В. Колениченко. – К.: Техніка, 1969. – 215 с.

94. Любимов Б.Я. Диссипативные процессы в кристаллах с дислокациями / Б.Я.Любимов, Л.В.Матвеев // Прикл. механ. и техн. физика. – 1993. – Т. 34, № 4. – С.

154-160.

95. Малыгин Г.А. Процессы самоорганизации дислокаций и пластичность кристаллов / Г.А. Малыгин // Успехи физических наук. – 1999. – Т.169, №9. – С.979-1010.
96. Аулін В.В. Нерівноважні фазові перетворення матеріалів в умовах лазерної обробки та їх вплив на триботехнічні характеристики / В.В. Аулін, О.В. Кузик / Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійського форуму - 2014", 4-7 червня 2014, Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2014.-С.46-48.
97. Гиттерман М. Фазовые превращения: Краткое изложение и современные приложения / М.Гиттерман, В.Хэлперн. – М.: – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютерных исследований, 2006. – 128 с.
98. Дайсон Ф. Устойчивость и фазовые переходы/Ф.Дайсон и др.– М.:Мир,1973.–373с.
99. Евтеев А.В. Фазовые структурные превращения в молекулярно-динамической модели железа при сверхбыстром нагреве и охлаждении / А.В. Евтеев, А.Г. Косилов, А.В. Миленин // Физика твердого тела. – 2001. – Т.43, Вып.12. – С.2187-2192.
100. Смирнов А.П. Реальные фазовые переходы и принципы их описания / А.П. Смирнов // Системы особых температурных точек твердых тел. – М.: Наука,1986.–С.210-239.
101. Пригожин И. Время, хаос, квант: пер. с англ. / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1994. – 272 с.
102. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках / И.Пригожин. – М.: Наука, 1985. – 328 с.
103. Onsager L. Reciprocal relations in irreversible processes/L. Onsager//Department of Chemistry, Brown University 1931 – V38 – 2265-2279p
104. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание/ В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, М.Г. Колокольников. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
105. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов / А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
106. Икрамов У. Механизмы и природа абразивного изнашивания/ У. Икрамов. – Ташкент: ФанУзССР, 1979. – 132 с.
107. Алтоиз Б.А. Физика приповерхностных слоев / Б.А.Алтоиз, Ю.М.Поповский. – Одесса: Астропринт, 1995. – 153 с.
108. Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов / В.И. Бутенко – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 264с.
109. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Перев. с 4-го амер. издания. – М.: Наука, 1978. – 792 с.
110. Харламов Ю.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела / Ю.А.Харламов, М.А.Будагьянс. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.
111. Воронин А.Д. Основы физики почв/ А.Д. Воронин. - М: МГУ, 1986. – 214с.
112. Пашинский В.В. Гетерогенность структуры и диссипация энергии в металлических материалах: монография / В.В. Пашинский. – Донецк: ВИК, 2008. –

285 с.

113. Соколовская Е.М. Физикохимия композиционных материалов / Е.М. Соколовская, Л.С. Гузей. – М.: Моск. ун-та, 1978. – 256 с.

114. Пат. № 8907 Україна, МПК 7G01G11/00 (2005). Спосіб багатокomпонентного дозування сипкого матеріалу / Аулін В.В., Бісюк В.А., Віхрова Л.Г., Бобрицький В.М.; заявник і патентотримувач КНТУ.–№u200502779; заявл.28.03.05;опубл.15.08.2005; Бюл.№8.

115. Пат. 88977 Україна, МПК (2014) G01M 13/00. Спосіб припрацювання трибоспряжень / Аулін В.В., Замота Т.М., Слонь В.В., Голуб Д.В.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u201312052; заявл. 14.10.2013; опубл. 10.04.2014; Бюл.№ 7.

116. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

117. Воробьев В.А., Илюхин А.В. Математическое моделирование в компьютерном материаловедении // Российская академия архитектуры и строительных наук/ Вестник отделения строительных наук. – 1999. Вып. 2. –С.117-125.

118. Аулин В.В. Улучшение физических свойств поверхностных слоёв некоторых конструкционных материалов при поверхностном легировании и лазерном облучении: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. физ.-мат. наук – спец. 01.04.07 "Физика твёрдого тела" / В.В.Аулин. – М.: МИСиС, 1989. – 24 с.

119. Аулін В.В. Фізико-хімічні основи впливу електричних та магнітних полів на механізм змащувальної дії моторної оливи / В.В. Аулін / М-ли міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні пробл. інженер. механіки", 25-26 жовтня 2011р. – Миколаїв:НУК, 2011. – С.55-57.

120. Аулін В.В. Динаміка зміни напружено-деформованого та зносного стану РЕ РОГМ при різних варіантах зміцнення / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ, 2010. – №3 – С.54-59.

121. Ковальский А.В. Напряженное состояние и изнашивание композиционных материалов при трении: дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах", спец. 05.16.06"Порошковая металлургия и композиц. М-лы"/А.В.Ковальский.–Киев,1987.–189 с.

122. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Наук. вісник ЛНАУ. Серія: Техн. науки.–Луганськ: ЛНАУ.–2009.–№3.–С. 6-17.

123. Аулін В.В. Напружено-деформований стан поверхневих шарів гомогенних і гетерогенних матеріалів при терті і зношуванні / В.В. Аулін/ Сучасні проблеми триботехніки / М-ли міжн. наук. техн. конф. 27-29 вересня. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 83-86.

124. Аулін В.В. Комп'ютерне моделювання полів температур та напружень в композиційних матеріалах та покриттях при їх формуванні, терті та зношуванні / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький// Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобуд., автоматизація, вип. 27. – Кіровоград, 2014. – С.235-245.

125. Аулін В.В. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, Т.М. Замота // Вісник інж. академії України. – 2015. – №3. – С. 66-72.

126. Пат. 69735 Україна, МПК (2012) G01N 3/56. Установка для дослідження взаємодії абразивного середовища з робочими органами машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u201112831; заявл. 01.11.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл №9.

127. Аулін В.В. Вибіркове зношування робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин як відображення стохастичної природи їх взаємодії з частинками ґрунту / В.В. Аулін, В.А. Настоящий, А.А. Тихий / Зб. наук. праць Укр. держ. академії залізн. транспорту. – 2014. – Вип. 148. – С.25-33.

128. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание/М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.

129. Аулін В.В. Величина і характер зношування РОГМ при різній глибині обробітку / В.В. Аулін, А.А. Тихий, В.М. Бобрицький / Зб. тез м-лів між нар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум – 2012", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.54-56.

130. Аулін В.В. Деякі закономірності зношування елементів трибосистеми "РОГМ-ґрунт" / В.В. Аулін, А.А. Тихий / Зб. тез матеріалів міжнародної науково-практичної конференції "Ольвійський форум - 2012", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.57-59.

131. Пат. 48191 Україна, МПК(2009) G01N 3/56. Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u200909377; заявл. 11.09.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

132. Пат. 48306 Україна, МПК(2009) G01M 13/00, G01N 33/24, E21B 49/00. Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u200910224; заявл. 08.10.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

133. Пат. 49553 Україна, МПК(2009) G01M 13/00. Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Лізунов С.М. та ін.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u200910485; заявл. 16.10.2009; опубл. 26.04.2010; Бюл.№ 8.

134. Аулін В.В. Зміна форми різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин в процесі зношування / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, О.Ю. Жулай // Наукові праці Таврійської держ. агротехн. академії – Вип.40. – Мелітополь, ТДАТА, 2006. – С.5-11.

135. Аулін В.В. Забезпечення самоорганізації форми деталей з різальними елементами при їх виготовленні / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №3 – С.104-108.

136. Качинский П.А. Почва ее свойства и жизнь/П.А.Качинский–М.:Наука, 1975 – 295с .

137. Ревут И.Б.Физика почв/И.Б.Ревут.-Л.:Колос, 1964. – 320с.

138. Аулін В.В. Використання реологічних характеристик і властивостей ґрунту при виявленні механізму його руйнування при дії РОГМ / В.В. Аулін, М.І.

Черновол, А.А. Тихий // М-ли ІХ-ї Міжнародної наук.-практ. конф. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки, вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 3-6.

139. Аулін В.В. Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.120-126.

140. Пат. 74655 Україна, МПК (2012) E02F 9/00. Установка для визначення напружено-деформованого стану ґрунтового середовища / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u201203531; заявл. 26.03.2012; опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

141. Аулін В.В. Вплив зносу елементів конструкції сошників на їх тяговий опір / В.В. Аулін, Ю.В. Мачок, В.М. Сало, Т.Г. Сабірзянов, П.Г. Лузан // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин / Загальнодерж. міжвід. наук. – техн. зб. – Кіровоград: КНТУ. – 2012р. Вип.42. Частина І – С. 100-106.

142. Аулін В.В. Обґрунтування конструкції полозкового сошника з самозагострюваним лезом полозу / В.В. Аулін, Ю.В. Мачок, Є.К. Солових, І.К. Солових / Конструювання, вироб. та експлуатація сільськогосп. машин // Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Вип.41. – Частина І. - Кіровоград: КНТУ. – 2011. – С. 297-300.

143. Аулін В.В. Самозагострювання різальних елементів ґрунтообробних і землерийних машин в умовах зміцнення їх робочих поверхонь / В.В. Аулін, С.О. Карпушин, А.А. Тихий // Сб. науч. трудов "Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного университета". Харьков: ХНАДУ, 2012. – вып. 57 – С. 188-194.

Список використаних джерел до розділу 4

1. Мударисов С.Г. Повышение качества обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: дисс. д-ра. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / С.Г. Мударисов. – ЧГАУ, Челябинск, 2007. – 351 с.

2. Сироткин В.М. Разработка теории и метода оценки механического воздействия на почву почвообрабатывающих машин и орудий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / В.М. Сироткин. - Чебоксары, 2001. -42 с.

3. Аулін В.В. Закономірності зміни напружено-деформованого стану ґрунтового середовища при дії на нього робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий, О.Д. Мартиненко // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка /Вип. 118. Техн. сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосп. машинобуд. – Харків. – 2011. – С.263-267.

4. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Наук. вісник ЛНАУ. Серія: Техн. науки.–Луганськ: ЛНАУ.–2009.–№3.–С. 6-17.

5. Аулін В.В. Величина і характер зношування РОГМ при різній глибині обробітку / В.В. Аулін, А.А. Тихий, В.М. Бобрицький / Зб. тез м-лів між нар. наук.-

- практ. конф. "Ольвійський форум – 2012", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.54-56.
6. Воронин А.Д. Основы физики почв/ А.Д. Воронин. - М: МГУ, 1986. – 214с.
 7. Аулін В.В. Трибофізичне обґрунтування зміни напружено-деформованого стану ґрунту під час дії РОГМ / В.В. Аулін // Констр., виробн. та експлуатація с/г машин. Загальнодерж. міжвід. наук. – техн. зб. – Кіровоград: КНТУ. – 2012р. Вип.42. Ч. I – С. 13-20.
 8. Панов И.М. Физические основы механики почв/Панов И.М.-К.:Наука,2008–267с.
 9. Гриньків А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів / А.В. Гриньків // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосп. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2016. – №29. С. 25-32.
 10. Баган М.С. Модель почвенного пласта/ М.С.Баган//ВестникЧГАУ,2001.–Т.34.–С.64-67.
 11. Бледных В.В. Совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе математического моделирования технологических процессов: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.20.01 "Механизация сельскохозяйственного производства"/ В.В. Бледных. – Л.: Пушкин, 1989. – 37 с.
 12. Дмитриев А.И. Многоуровневое моделирование процессов трения и износа на основе численных методов дискретной и феноменологической теории / А.И. Дмитриев, А.Ю. Смолен, В.А. Попов и др. // Физическая мезомеханика, 2011. – Т.11, №4. – С. 15-24.
 13. Аулін В.В. Використання реологічних характеристик і властивостей ґрунту при виявленні механізму його руйнування при дії РОГМ / В.В. Аулін, М.І. Черновол, А.А. Тихий // М-ли ІХ-ї Міжнародної наук.-практ. конф. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки, вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 3-6.
 14. Аулін В.В. Реологічний підхід до виявлення механізму руйнування і розробки технологій обробітку ґрунту / В.В. Аулін, М.І. Черновол, А.А. Тихий // Вісник інженерної академії України. – 2013. – №3-4. – С. 191-196.
 15. Аулін В.В. Характеристика ґрунту як елементу трибосистеми "РОГМ-ґрунт" та реологічне обґрунтування його взаємодії з РОГМ / В.В. Аулін // Вісник інженерної академії України. – 2013. – №1. – С. 104-109.
 16. Николаева И.В. Реологические свойства дерново-подзолистых почв и черноземов при различном сельскохозяйственном использовании: автореф. дисс. на соискания уч. степени канд. биологических наук: спец. 03.00.27 – почвоведение / И.В. Николаева. – Москва, 2008. – 19с.
 17. Иванова В.С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов / В.С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 159 с.
 18. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.
 19. Пригожин И.Р. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И.Р. Пригожин, Д. Кондеруди. – М.: Мир, 2002. – 319 с.

20. Босенко Н.С. Система "почва-почвообрабатывающий агрегат" как двухуровневая модель сложной системы/ Н.С. Босенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – №2. – С.9-11.
21. Мясенко В.И. Моделирование процесса силового взаимодействия с почвой рабочих органов почвообрабатывающих орудий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства"/ В.И. Мясенко. – Новосибирск, 1992. – 45 с.
22. Аулін В.В. Врахування внутрішнього і зовнішнього тертя в трибосистемі "РОГМ-грунт" при виявленні механізму зношування та розробці технологій зміцнення / В.В. Аулін // М-ли ІХ-ї Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогоспод. техніки", вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 164-167.
23. Багиров И.З. Исследование деформации и сопротивления грунта при взаимодействии с клином при различных скоростях: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.20.01 "Механизация сельскохоз. производства"/И.З.Багиров.–Минск,1963.–18с.
24. Капов С.П. Основные принципы построения модели разрушения почвенной среды / С.П. Капов, С.Г. Мударисов // Тракторы и сельскохоз. машины. – 2005.–№6.–С.30-32.
25. Кузнецова В.Н. Развитие научных основ взаимодействия контактной поверхности рабочих органов землеройных машин с мерзлыми грунтами: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.05.04 Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины/В.Н. Кузнецова – Омск, 2009. – 52 с.
26. Аулін В.В. Модель взаємодії дисперсного середовища ґрунту з поверхнею робочих органів ґрунтообробних та землерійних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий// Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в СГВ, галузеве машинобуд., автомат., вип.27.–Кіровоград,2014.–С.140-149.
27. Аулін В.В. Вплив властивостей компонентів КМ (КП) на напружено-деформований стан і триботехнічні характеристики деталей СГТ / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 45, ч. І. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С.150-160.
28. Кушнарев А.С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук. / А.С. Кушнарев. – Челябинск, 1981.– 48с.
29. Мамбеталин К.Т. Почва и ее тайны/ К.Т. Мамбеталин. Челябинск, 2000. – 100 с.
30. Аулін В.В. Фазовий склад ґрунтового середовища та його зношувальні властивості /В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №2 – С.91-99.
31. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов/ М.Н. Гольдштейн. - М.: Стройиздат, 1971. – 367 с.
32. Аулін В.В. Динаміка зміни напружено-деформованого та зносного стану РЕ РОГМ при різних варіантах зміцнення / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ, 2010. – №3 –

C.54-59.

33. Рейнер М. Реология / М. Рейнер. – Пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 223 с.
34. Аулін В.В. Вплив співвідношення фазових складових середовища ґрунту на зношування РОГМ / В.В. Аулін, А.А. Тихий / М-ли II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженерної механіки", 22-24 жовтня 2012р.– Миколаїв: НУК, 2012. – С85-86.
35. Аулін В.В. Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.120-126.
36. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: ЛУ, 1981. – 172 с.
37. Лобачевский Я.П. Влияние сил трения и прилипания почвы на технологический процесс почвообрабатывающих рабочих органов/ Я.П. Лобачевский // Развитие технической базы агропромышленного комплекса. – 2000. – С.47-53.
38. Аулін В.В. Деякі закономірності зношування елементів трибосистеми "РОГМ-ґрунт" / В.В. Аулін, А.А. Тихий / Зб. тез матеріалів міжнародної науково практичної конференції "Ольвійський форум - 2012", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.57-59.
39. Аулін В.В. Динаміка зміни напружено-деформованого та зносного стану РЕ РОГМ при різних варіантах зміцнення / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ, 2010. – №3 – С.54-59.
40. Аулін В.В. Самозагострювання різальних елементів ґрунтообробних і землерийних машин в умовах зміцнення їх робочих поверхонь / В.В. Аулін, С.О. Карпушин, А.А. Тихий // Сб. науч. трудов "Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного университета". Харьков: ХНАДУ, 2012. – вып. 57 – С. 188-194.
41. Аулін В.В. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, Є.К. Солових // Конструювання, виробництво та експлуатація СГМ // Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кіровоград: КНТУ. – 2005. – Вип.35. – С. 153-157.
42. Любичева А.Н. Контактное взаимодействие и изнашивание неоднородных тел: дисс. ... канд. физ-мат. наук: спец. 01.02.04 "Механика деформированного твердого тела" / А.Н. Любичева. – М.: 2005. – 88 с.
43. Берсудский А.Л. Моделирование напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при упрочнении с покрытием / А.Л. Берсудский, О.А. Логинов // Вестник Самарского госуд. университета. Естественно-научная серия. – 2003. – №4(30) – С.103-111.
44. Прочность материалов и конструкций / Ред.кол.: В.Т.Трощенко (отв. ред.) и др. – К.: Академперіодика, 2005. – 1088 с.
45. Тимошенко С.П. Теория упругости. – Гуднер Д. М.: Наука, 1975. – 576 с.
46. Фёдоров В.В. Эргодинамика и синергетика деформируемых тел / В.В.Фёдоров. – ФХММ. – 1988. – №1. – С.32-34.
47. Аулін В.В. Зміна форми різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин в процесі зношування / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, О.Ю. Жулай // Наукові праці Таврійської держ. агротехн. академії – Вип.40. – Мелітополь,

ТДАТА, 2006. – С.5-11.

48. Аулін В.В. Зношувальна здатність ґрунтового середовища та закономірності спрацювання деталей РОГМ / В.В. Аулін, М.І. Черновол, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХДУ. – 2010. – №2 – С.6-10.

49. Аулін В.В. Характер та інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХДУ. – 2004. – №2 – С.107-112.

50. Аулін В.В. Теоретичні основи самозагострювання, міцності і зношування різальних елементів РОГМ та напрямки підвищення їх довговічності / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Вісник інженерної академії України. - 2010.-№1-С.149-154.

51. Аулін В.В. Закономірності зношування деталей робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами / В.В. Аулін, М.І.Черновол, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Інженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 8-й междунар. научн.-техн.конф., 27–29 мая 2008, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2008. – С.11-16.

52. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа. – М: Машиностроение, 1987. – 288 с.

53. Лоренц В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин / В.Ф. Лоренц – М.: Машгиз, 1948. – 100 с.

54. Рабинович М.И. Динамическая теория формообразования / М.И.Рабинович, А.Б.Езерский. – М.: Янус-К, 1998. – 192 с.

55. Ґрунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенський и др., под ред. В.Т.Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

56. Бараш Ю.С. Силы Ван-дер Вальса / Ю.С. Бараш. – М.: Наука, 1988. – 344 с.

57. Аулін В.В. Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.114-119.

58. Кушнарєв А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарєв, В.И. Кочев. – Киев.: Урожай, 1989. –144 с.

59. Качинский П.А. Почва ее свойства и жизнь / П.А.Качинский – М.:Наука, 1975 – 295с .

60. Почвоведение. Типы почв, их география и использования / под ред. В.А.Ковда, Б.Т.Розанов – М.:Висшая школа, 1988. – 368с.

61. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия: монография / И.Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478 с.

62. Аулін В.В. Характерні зміни властивостей і стану ґрунту під час дії РОГМ та їх вплив на закономірності тертя і зношування / В.В. Аулін // Вісник інженерної академії України. – 2013. – №1. – С. 169-172.

63. Аулін В.В. Стохастична модель динаміки процесу абразивного зношування різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: Техн. науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2007, - №76(99). – С 15-18.

64. Беркович И.И. Теоретические основы фрикционного взаимодействия дисперсных материалов с твердой поверхностью: монография / И.И. Беркович, А.Н. Болотов, Ю.И. Морозов. – Тверь: ТвГТУ, – 2012. – 92 с.
65. Пат. 69735 Україна, МПК (2012) G01N 3/56. Установка для дослідження взаємодії абразивного середовища з робочими органами машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентоотримувач КНТУ. – №u201112831; заявл. 01.11.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл №9.
66. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга /Д.Б.Бернштейн//Тракторы и сельхозмашины.–2002.–№ 6.– С.40-45.
67. Баранов В.В. Рекуррентные методы оптимальных решений в стохастических системах / В.В.Баранов. – Харьков: Вища школа, 1981. – 145 с.
68. Аулін В.В. Вибіркове зношування робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин як відображення стохастичної природи їх взаємодії з частинками ґрунту / В.В. Аулін, В.А. Настоящий, А.А. Тихий / Зб. наук. праць Укр. держ. академії залізн. транспорту. – 2014. – Вип. 148. – С.25-33.
69. Баранов В.В. Оптимизационные методы последовательных приближений в марковских процессах решение/ В.В.Баранов // Кибернетика. – 1985. – №4. – С. 103-111.
70. Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем: Монография / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. Киев: Наук. думка, 1982. – 236 с.
71. Костецкий Б.И. Марковская модель износа и прогнозирования долговечности изнашиваемых деталей / Б.И. Костецкий, В.П. Стрельников, В.Г. Таций // Проблемы трения и изнашивания. – 1976. – вып. 10. – С.10-15.
72. Оборский Г.О. Синергетический подход в моделировании марковских процессов / Г.О. Оборский, О.С. Савельева, Н.А. Котенко // Проблемы фундаментальных прикладных наук. Праці Одеського політехн. університету, 2011. – Вип. 1(35). – С.164-168.
73. Jerri A. J. The Shannon Sampling Theorem – Its Various Extensions and Applications: A Tutorial Review/ A.J.Jerri// Proceedings of the IEEE, - 1977, vol.65, N.11,November – P.1565-1596
74. Kotel'nikov V.A. The Theory of Optimum Noise Immunity./V.A. Kotel'nikov. -McGraw-Hill Book Co.,1959. – 140p.
75. Аулин В.В. Повышение износостойкости дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин с реализацией эффекта самозатачивания / В.В.Аулин, К.В.Борак / Новые материалы и технологии их получения: м-лы VII Междунар. науч.-практ. конф., 19 ноября 2013 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2014. – С.50-58.
76. Аулін В.В. Підвищення довговічності РОГМ, зміцненням їх за різними варіантами та реалізацією ефекту самозагострювання/В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий//Вісник ХНТУСГ /Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосп виробн. – Харків. – 2010. – №100 – С.158-165.
77. Аулін В.В. Обґрунтування конструкції полозкового сошника з самозагострюванням лезом полозу / В.В. Аулін, Ю.В. Мачок, Є.К. Солових, І.К.

Солових / Конструювання, вироб. та експлуатація сільськогосп. машин // Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Вип.41. – Частина I. – Кіровоград: КНТУ. – 2011. – С. 297-300.

78. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание/М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.

79. Аулін В.В. Вплив зносу елементів конструкції сошників на їх тяговий опір / В.В. Аулін, Ю.В. Мачок, В.М. Сало, Т.Г. Сабірзянов, П.Г. Лузан // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин / Загальнодерж. міжвід. наук. – техн. зб. – Кіровоград: КНТУ. – 2012р. Вип.42. Частина I – С. 100-106.

80. Аулін В.В. Забезпечення самоорганізації форми деталей з різальними елементами при їх виготовленні / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №3 – С.104-108.

81. Винокуров В.Н. Повышение износостойкости культиваторных лап путем обеспечения их самозатачивания. / В.Н. Винокуров // Повышение надежности и долговечности сельскохозяйственных машин: сборник. – М., 1964. – С. 369–375.

82. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин/ А.Ш. Рабинович.- М. ГОСНИТИ, 1962. – 107 с.

83. Винокуров В.Н. Определение выбраковочных параметров режущих элементов рабочих органов, почвообрабатывающих машин и орудий / В.Н. Винокуров, А.К. Малов, В.В. Копанов // Тракторы и сельхозмашины, 1976. – №10. – С.23-25.

84. Мишин П.В. Адаптивное использование почвообрабатывающих агрегатов/П.В. Мишин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – №5. – С.24-25.

Мударисов С.Г. Принципы разработки адаптирующихся рабочих органов почвообрабатывающих машин/С.Г. Мударисов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2005. – №6. – С. 10-11.

Список використаних джерел до розділу 5

1. Бойко А.І. Аналіз розподілу зусиль на ріжучій частині ґрунтообробного робочого органу/А.І. Бойко, О.В. Балабуха // Вісник Тернопіль. держ. техн. університету.–Т.5.–№4.– Тернопіль: ТДТУ.– 2000. – С. 78-82.

2. Бурченко П.Н. Вопросы деформации почвы клином/ П.Н. Бурченко // Науч.тр. ВИМ.- т.131.2000.- С.4-29.

3. Канивец И.Д. Исследование износа лап культиваторов с однородными и наплавленными сормайтом лезвиями в условиях черноземных почв центральной степи УССР: Дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве"/ И.Д. Канивец. – Днепропетровск, 1964. – 143 с.

4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник/ О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.; За ред. С.С. Яцуна.– К.: Мета, 2003.–448 с.

5. Маяускас И. С. Влияние давления почвы на износ рабочих органов почвообрабатывающих машин/ И. С. Маяускас // Вестник машиностроения, 1958.

— №10. — С. 18 — 32.

6. Подкатилов К.Е. Динамические исследования рабочих органов культиваторов повышенной прочности и износостойкости с нижним и верхним упрочнением твердыми сплавами. Автореф. дисс. канд.техн.наук,/ К.Е. Подкатилов. - Ростов-на-Дону. – 1969.– 21 с.

7. Попов В.С. Энергетический анализ процессов, происходящих в рабочей зоне сталей при изнашивании/В.С. Попов, Н.Н. Брыков, В.А. Гук // Физико-химическая механика материалов, 1975. – №4. – С. 24-29.

8. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов/А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

9. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий// Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.- Луганськ: ЛНАУ, 2009.-№3.-С. 6-17

10. Бойко А.І. Аналіз розподілу зусиль на ріжучій частині ґрунтообробного робочого органу/А.І. Бойко, О.В. Балабуха // Вісник Тернопіль. держ. техн. університету.–Т.5.–№4.– Тернопіль: ТДТУ.– 2000. – С. 78-82.

11. Аулін В.В. Динаміка зміни напружено-деформованого та зносного стану РЕ РОГМ при різних варіантах зміцнення/В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий//Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2010.-№3- С.54-59

12. Босенко Н.С. Система "почва - почвообрабатывающий агрегат" как двухуровневая модель сложной системы/ Н.С. Босенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003.- №2. - С.9-11.

13. Костецкий Б.И. Расчет интенсивности изнашивания при нормальном трении. / В кн.: Применение новых материалов, заменителей и систем смазки в узлах трения машин и оборудования/ Б.И. Костецкий, О.В. Зазимко, А.М. Зелинский. – Воронеж, 1986. – С.35-38.

14. Мударисов С.Г. Моделирование воздействия рабочих органов на почву/С.Г. Мударисов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2005.- №5.- С. 8-11.

15. Мяленко В.И. Моделирование процесса силового взаимодействия с почвой рабочих органов почвообрабатывающих орудий: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства"/ В.И. Мяленко. - Новосибирск, 1992. -45 с.

16. Розенбаум А.Н. Исследование износостойкости сталей для рабочих органов почвообрабатывающих орудий/А.Н. Розенбаум //Труды ВИСХОМ.- вып. 53. Исследование материалов деталей с.х. машин. ОНТИ, 1969. – 143с.

17. Тененбаум М.М. Износостойкость и долговечность сельскохозяйственных машин/ М.М. Тененбаум, С.Н. Шамшетов. – Нукус: Каракалпакстан, 1986.–150 с.

18. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворежущие детали машин/ А.Ш. Рабинович.- М. ГОСНИТИ, 1962. – 107 с.

19. Капов С.П. Модель почвенной среды/ С.П. Капов, Е.А. Устинова //

Вестник ЧГАУ.- т.32.- Челябинск, 2000.- С. 22-23.

20. Любимов А.И. Обобщенная математическая модель функционирования почвообрабатывающих агрегатов/ А.И. Любимов, Р.С. Рахимов, В.Г. Янкелевич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. Деп. в ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш., М., 1989. -14 с.

21. Аулін В.В. Самоорганізація геометричної форми різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин/В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий// Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практич. конф. «Ольвійський форум 2010» Секція «Трибологія та ресурсозбереження», 11-15 червня 2010.- Ялта:ЧДУ, 2010. – С.7

22. Крагельский И.В. Трение и износ/И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

23. Аулін В.В. Характер зміни триботехнічних характеристик спряжень дизелів при їх роботі в різних режимах / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2013. – №3 – С.89-96.

24. Баранов В.В. Рекуррентные методы оптимальных решений в стохастических системах / В.В.Баранов. – Харьков: Вища школа, 1981. – 145 с.

25. Аулін В.В. Величина і характер зношування РОГМ при різній глибині обробітку / В.В. Аулін, А.А. Тихий, В.М. Бобрицький / Зб. тез м-лів між нар. наук.-практич. конф. "Ольвійський форум – 2012", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.54-56.

26. Аулін В.В. Забезпечення самоорганізації форми деталей з різальними елементами при їх виготовленні / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №3 – С.104-108.

27. Александров В.В. Развивающиеся системы. В науке, технике, обществе и культуре. Ч.1. Теория систем и системное моделирование/В.В.Александров.– СПб:СПбГТУ, 2000.–243с.

28. Алисин В.В. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой для узлов трения, содержащих наноструктурированные ЧСЦ кристаллы / В.В Алисин, А.А. Владиславлев, М.Н. Рощин // Качество: теория и практика. М.: РДК-ПРЕСС, 2006. – С. 198-202.

29. Аулін В.В. Закономірності зношування деталей робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами / В.В. Аулін, М.І.Черновол, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 8-й междунар. научн.-техн.конф., 27–29 мая 2008, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2008. – С.11-16.

30. Аулін В.В. Структурні перетворення в конструкційних матеріалах, що знаходяться в невірноважених умовах / В.В.Аулін, Ф.Й.Златопольский, С.М.Лізунов // Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 4-й междунар. научн.-техн. конф., 25-27 мая 2004, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2004. – С.38-40.

31. Аулін В.В. Обґрунтування конструкції полозкового сошника з самозагострюваним лезом полозу / В.В. Аулін, Ю.В. Мачок, Є.К. Солових, І.К. Солових / Конструювання, вироб. та експлуатація сільськогосп. машин //

Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Вип.41. – Частина I. - Кіровоград: КНТУ. – 2011. – С. 297-300.

32. Беккерт М. Способы металлографического травления. Справочник/М. Беккерт, Х. Кимм – М.: Металлургия, 1998. – 399с.

33. Воинов Б. А. Износостойкие сплавы и покрытия/ Б. А. Воинов. — М.: "Машиностроение", - 1980. - 294 с.

34. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Т., Щербань М.И. Конструкционные порошковые материалы/ И.Д. Радомысельский, Г.Т. Сердюк, М.И. Щербань. – К.: Техніка, 1985. – 152 с.

35. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин/ Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1984. – 20 с.

36. Громаковский Д.Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения/ Д.Г. Громаковский. – М.: Машиностроение, 2005. – 290 с.

37. Добровольский А. Г. Абразивная износостойкость материалов/ А. Г. Добровольский, П. И. Кошеленко.– К.: Техника, 1989.– 128 с.

38. Икрамов У. Механизмы и природа абразивного изнашивания/ У. Икрамов. – Ташкент: ФанУзССР, 1979. – 132 с.

39. Аулін В.В. Методологія розв'язання проблеми підвищення зносостійкості деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін // Вісник ЖНАЕУ: наук.-теор. зб.– випуск № 2 (45), т.4, ч.ІІ – 2014. – С. 80-91.

40. Аулін В.В. Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.114-119.

41. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.

42. Артем А.Н. Оптимизация параметров рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин / А.Н. Артем // Совершенствование технологий и технических средств в АПК. – Барнаул, 2001. – С. 55-57.

43. Кушнарєв А.С. Механико-технологические основы обработки почвы/ А.С. Кушнарєв, В.И. Кочев. – Киев.: Урожай, 1989. –144 с.

44. Кушнарєв А.С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук. / А.С. Кушнарєв. – Челябинск, 1981.– 48с.

45. Аулін В.В. Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.120-126.

46. Аулін В.В. Динаміка зміни напружено-деформованого та зносного стану РЕ РОГМ при різних варіантах зміцнення / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ, 2010. – №3 – С.54-59.

47. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Наук. вісник ЛНАУ. Серія: Техн. науки.–Луганськ:

ЛНАУ.–2009.–№3.–С. 6-17.

48. Атлас почв Украинской ССР. – К.: Урожай, 1979. – 159 с.
49. Аулін В.В. Фазовий склад ґрунтового середовища та його зношувальні властивості /В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №2 – С.91-99.
50. Ревут И.Б. Физика почв/И.Б.Ревут.-Л.:Колос, 1964. – 320с.
51. Шикула Н.К. Минимальная обработка черноземов и воспроизведение их плодородия/Н.К.Шикула, Г.В.Назаренко. – М: Агропромиздат, 1990 – 319с.
52. Бурченко П.Н. Техническое обеспечение совершенствования технологий обработки почвы/ П.Н. Бурченко// Земледелие. – 2001. – №1. – С.5-6.
53. Аулін В.В. Зношувальна здатність ґрунтового середовища та закономірності спрацювання деталей РОГМ/ В.В. Аулін, М.І. Черновол, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХДУ. – 2010. – №2 – С.6-10.
54. Аулін В.В. Фазовий склад ґрунтового середовища та його зношувальні властивості/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий// Междунар. научн. журнал "Проблемы трибологии (Problems of Tribology)"Хмельницький: ХНУ, 2009. – №2 – С.91-99
55. Гольдштейн М.Н. Механические свойства ґрунтов/ М.Н. Гольдштейн. - М.: Стройиздат. 1971. С.195-197.
56. Каплун Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин/Г.П. Каплун. – Минск: Изд. Академии сельскохозяйственных наук БССР, 1966.– С.54-68.
57. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв/ А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. - М.: Агропромиздат, 1986.- 416 с.
58. Тихий А.А. Динамика износа режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин при взаимодействии с почвой / А.А. Тихий // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. Vol.18. No.2. – P. 41-48.
59. Аулін В.В. Структурна схема дослідження характеру зміни ентропії трибосистеми та її елементів / В.В. Аулін, О.П. Бруцький, С.В. Лисенко / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум - 2013 ", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили,2013.–С.58-60.
60. Вильсон А.Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / А.Дж.Вильсон. – М.: Наука, – 1978. - 214 с.
61. Дулесов А.С. Свойства энтропии технической системы / А.С. Дулесов, М.Ю. Семенова, В.И. Хрусталеv // Фундаментальные исследования. – 2011 – №8. –С. 631-636.
62. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности. Вопросы управления сложными системами / И.В.Прангишвили. – М.: Наука, 2003. – 428 с.
63. Аулін В.В. Самозагострювання різальних елементів ґрунтообробних і землерийних машин в умовах зміцнення їх робочих поверхонь / В.В. Аулін , С.О. Карпушин, А.А. Тихий // Сб. науч. трудов "Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного университета". Харьков: ХНАДУ, 2012. – вып. 57 – С. 188-194.

64. Аулін В.В. Теоретичні основи самозагострювання, міцності і зношування різальних елементів РОГМ та напрямки підвищення їх довговічності / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Вісник інженерної академії України. - 2010.-№1-С.149-154.

65. Аулін В.В. Реализация процесса самозатачивания РЭ РОГМ лазерными технологиями / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А.Тихий // Матеріали тез I Всеукр. наук. конф. студ., маг., асп. і докторантів "Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття" 12-14 листопада 2008р. / За ред. проф. В.Г. Ткаченка. Частина I. – Луганськ: "Елтон-2", 2008. – С. 239 – 243.

66. Любичева А.Н. Контактное взаимодействие и изнашивание неоднородных тел: дисс. ... канд. физ-мат. наук: спец. 01.02.04 "Механика деформированного твердого тела" / А.Н. Любичева. – М.: 2005. – 88 с.

67. Аулін В.В. Закономірності взаємодії деталей і робочих органів з ґрунтовим середовищем на основі уточненої моделі ґрунту / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Матеріали V-го междунар. форуму молодіж "Молодежь и с/х техника в XXI веке". – Харьков: ХНТУСХ. 2009. – С. 5.

68. Аулін В.В. Закономірності зміни напружено-деформованого стану ґрунтового середовища при дії на нього робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий, О.Д. Мартиненко // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка / Вип. 118. Техн. сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосп. машинобуд. – Харків. – 2011. – С.263-267.

69. Аулін В.В. Трибофізичне обґрунтування зміни напружено-деформованого стану ґрунту під час дії РОГМ / В.В. Аулін // Констр., виробн. та експлуатація с/г машин. Загальнодерж. міжвід. наук. – техн. зб. – Кіровоград: КНТУ. – 2012р. Вип.42. Ч. I – С. 13-20.

70. Винокуров В.Н. Повышение износостойкости культиваторных лап путем обеспечения их самозатачивания. / В.Н. Винокуров // Повышение надежности и долговечности сельскохозяйственных машин: сборник. – М., 1964. – С. 369–375.

71. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев. – М. Машиностроение, 1995. – 336 с.

72. Аулін В.В. Особливості зміцнення конструкційних матеріалів у нерівноважних умовах їх обробки / В.В. Аулін, Є.К. Солових та ін. // Вісник ХДТУСГ. Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. – Вип. 4. – Харків. – 2000. – С.129-135.

73. Акимов И.А. Математическое моделирование теплофизических процессов в многослойных конструкциях с фазовыми переходами: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д.-ра техн. наук: спец. 05.13.18 "Математическое моделирования, численные методы и комплексы программы" / И.А. Акимов. – Санкт-Петербург, 2007. – 32с.

74. Аулін В.В. Використання концентрованих потоків енергії при формуванні локальних зміцнених зон та композиційних покриттів на деталях машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батехін // Машиностроение и техносфера XXI века / Сб. трудов XII междунар. научн.-техн. конф. в г. Севастополе 12-17 сентября 2005. – В 5-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – Том 1. – С. 30-33.

75. Аулін В.В. Вплив співвідношення фазових складових середовища ґрунту на зношування РОГМ / В.В. Аулін, А.А. Тихий / М-ли II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженерної механіки", 22-24 жовтня 2012р.– Миколаїв: НУК, 2012. – С85-86.
76. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
77. Аулін В.В. Фізико-технологічні засади підвищення надійності трибосистем дизелів мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, С.В. Лисенко // Вісник ЖНАЕУ: наук.-теор. зб. – випуск № 2 (45), т.4, ч.ІІ – 2014. – С. 56-68.
78. Афраймович В.С. Внутренние бифуркации и кризисы аттракторов / Нелинейные волны. Структуры и бифуркации /В.С.Афраймович.–М.:Наука,1987.– С.189–213.
79. Босенко Н.С. Система "почва-почвообрабатывающий агрегат" как двухуровневая модель сложной системы/ Н.С. Босенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – №2. – С.9-11.

Список використаних джерел до розділу 6

1. Аулін В.В. Физические основы разработки технологических методов модификации и трибофизические основы модифицированных материалов / В.В.Аулін // Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 9-й междунар.научн.-техн.конф., 25–29 мая 2009, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2009. – С.16-19.
2. Аулін В.В. Деякі закономірності зношування елементів трибосистеми "РОГМ-ґрунт" / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практ. конф. «Ольвійський форум - 2012» Секція «Трибологія, енерго- та ресурсозбереження», 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.57-59
3. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.
4. Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов / В.И. Бутенко – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 264 с.
5. Аулін В.В. Деякі питання фізики створення та математичного моделювання властивостей композиційних покриттів триботехнічного призначення / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2006. – №2 – С. 88-100.
6. Аулін В.В. Дослідження стану зміцнених поверхневих шарів матеріалів за коерцитивною силою / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батехін та ін. //Проблеми трибології (Problems of tribology).–Хмельницький:ХНУ.–2006.–№2–С.80-87.
7. Аулін В.В. Дослідження стану поверхневих шарів деталей триботехнічних систем коерцитиметричним методом / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2014. – №3 – С.103-110.
8. Аулін В.В. Дослідження мікрогеометрії поверхонь тертя деталей фрактальним методом / В.В. Аулін, С.М. Лізунов // Констр., виробництво та

експлуатація сільгосп. машин // Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ. – 2009. – Вип.39. С. 280-286.

9. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

10. Аулін В.В. Комп'ютерне моделювання полів температур та напружень в композиційних матеріалах та покриттях при їх формуванні, терті та зношуванні / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький// Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобуд., автоматизація, вип. 27. – Кіровоград, 2014. – С.235-245.

11. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Наук. вісник ЛНАУ. Серія: Техн. науки.–Луганськ: ЛНАУ.–2009.–№3.–С. 6-17.

12. Аулін В.В. Характеристики спрацювання деталей дизелів МСГТ та підвищення їх зносостійкості на основі комбінованого модифікування моторної оливи / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко // М-ли ІХ-ї Міжнар. наук.-практ. конф."Проблеми конструювання, вироб. та експлуатації СГТ", вип. 1.–Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 181-184.

13. Аулін В.В. Вибір характеру і варіанту зміцнення різальних елементів РОГМ з реалізацією ефекту самозагострювання / В.В. Аулін, А.А. Тихий / Тези доповідей студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів на ІV Всеукраїнській наук.-практ. конф. “Підвищення надійності машин і обладнання” 9 квітня 2010 року.– Кіровоград: КНТУ, 2010.– С. 167.

14. Аулін В.В. Використання концентрованих потоків енергії при формуванні локальних зміцнених зон та композиційних покриттів на деталях машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батєхін // Машиностроение и техносфера XXI века / Сб. трудов XII междунар. научн.-техн. конф. в г. Севастополе 12-17 сентября 2005. – В 5-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – Том 1. – С. 30-33.

15. Аулін В.В. Забезпечення самоорганізації форми деталей з різальними елементами при їх виготовленні / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №3 – С.104-108.

16. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: монография / А.Г. Григорьянц, Н.Н. Шиганов, А.И. Мисюров – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 312 с.

17. Антонюк В.С. Определение оптимальной структуры дифференциальных покрытий / В.С. Антонюк, С.П. Вислоух, В.И. Миренко, А.В. Рутковский // Инженерия поверхности и реновация изделий. – Киев. – 2004. – С.20-24.

18. Аулін В.В. Створення композиційних дисперсно-зміцнених покриттів на деталях СГТ з використанням лазерного випромінювання / В.В.Аулін // Конструювання, виробн. та експлуатація сільгосп. машин. – Вип. 33. – Кіровоград, КДТУ. – 2003. – С.310-316.

19. Батищев А.Н. Методические основы обоснования рационального способа восстановления деталей/А.Н. Батищев// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1992. - №9.- С.30-31.

20. Гатауллин Р.М., Основы системного подхода к оптимизации способов

восстановления деталей машин/Р.М. Гатауллин, И.Н. Кравченко// Ремонт восстановление, модернизация. – 2005. №4. – С34-37.

21. Кравченко И.Н., К вопросу выбора оптимального способа восстановления изношенных деталей машин/И.Н. Кравченко, А.Н. Батищев, А.М.Третьяков// Научно-технический сборник (юбилейный выпуск). Балашиха:ВТУ Спецстроя России.–2002.– С.8-16.

22. Аулін В.В. Динамічна адаптація спряжень деталей до умов експлуатації з реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін / М-ли II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженер. механіки", 22-24 жовтня 2012р.–Миколаїв:НУК,2012.– С73-74.

23. Аулін В.В. Динамічне матеріалознавство зон тертя деталей сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Вісник ЖНАЕУ: наук.-теор. збір. – випуск № 2 (45), т.4, ч.ІІ – 2014. – С. 102-110.

24. Аулін В.В. Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ. Техніка в СГВ, галузеве машинобуд., автомат. – Вип.26. – Кіровоград, 2013. –С.32-40.

25. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / [М. М. Севернев, Н. Н. Подлекарев, В. Ш. Сохадзе, В. О. Китиков]; под ред. М. М. Севернева. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 333 с.

26. Приходько В.М. Металлофизические основы разработки упрочняющих технологий / В.М. Приходько, Л.Г. Петрова. О.В. Чудина. – М.: Машиностроение,2003.–384с.

27. Аулін В.В. Модификация композиционных покрытий триботехнического назначения концентрированным потоком энергии / В.В.Аулін // Сб. тезисов докладов II-й Евразийской научн.-практ. конф. "Прочность неоднородных структур". ПРОСТ 2004.- Москва, МИСиС 20-22 апреля 2004г. – С.75.

28. Аулін В.В. Модифікація структури поверхневих шарів деталей лазерним випромінюванням / В.В. Аулін, В.Б. Батехін, В.М. Бобрицький, Ф.Й. Златопольський// Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 6-й междунар.научн.-техн.конф., 30 мая – 1 июня 2006. – Ялта. – Киев: АТМ України, 2006. – С.18-20.

29. Аулін В.В. Підвищення довговічності РОГМ, зміцненням їх за різними варіантами та реалізацією ефекту самозагострювання/В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий//Вісник ХНТУСГ /Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосп виробн. – Харків. – 2010. – №100 – С.158-165.

30. Аулін В.В. Фізико-хімічні основи створення композиційних матеріалів триботехнічного призначення із структурою шпінелі/В.В.Аулін, М.А.Зіновик, В.О.Дубовик //Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький:ХНУ.– 2007. –№2(44)–С.63-66.

31. Аулін В.В. Визначення технологічних параметрів лазерної обробки деталей з урахуванням специфіки впливу променя на конструкційні матеріали / В.В.Аулін, О.Й.Мажейка, Є.К. Солових // Вісник академії інженерних наук. – №2. – 2002. – С. 30-25.

32. Пат. № 8907 Україна, МПК 7G01G11/00 (2005). Спосіб багатокomпонентного дозування сипкого матеріалу / Аулін В.В., Бісюк В.А., Віхрова

Л.Г., Бобрицький В.М.; заявник і патентоотримувач КНТУ.–№u200502779; заявл.28.03.05;опубл.15.08.2005; Бюл.№8.

33. Пат. 26969 Україна, МПК С23С 14/46. Спосіб модифікування поверхонь лазерною обробкою / Аулін В.В., Барановський Д.М., Барановська М.Ю. та ін.; заявник і патентоотримувач КНТУ. – №u200706507; заявл. 11.06.2007; опубл. 10.10.2007; Бюл. №16.

34. Аулін В.В. Особливості зміцнення конструкційних матеріалів у нерівноважних умовах їх обробки / В.В. Аулін, Є.К. Солових та ін. // Вісник ХДТУСГ. Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. – Вип. 4. – Харків. – 2000. – С.129-135.

35. Аулін В.В. Фізика структурних перетворень матеріалу в зоні обробки концентрованими потоками енергії та тертя і зношування / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2007. – №2 (44) – С. 57-59.

36. Аулин В.В. Улучшение физических свойств поверхностных слоёв некоторых конструкционных материалов при поверхностном легировании и лазерном облучении: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. физ.-мат. наук – спец. 01.04.07 "Физика твёрдого тела" / В.В.Аулин. – М.: МИСиС, 1989. – 24 с.

37. Аулін В.В. Обґрунтування впливу мартенситної структури на трибологічні властивості сталей під впливом концентрованих потоків енергії / В.В. Аулін, С.М. Лізунов, В.М. Бобрицький, В.Б. Батехін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2005. – №2 – С.103-112.

38. Аулин В.В. Повышение износостойкости дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин с реализацией эффекта самозатачивания / В.В.Аулин, К.В.Борак / Новые материалы и технологии их получения: м-лы VII Междунар. науч.-практ. конф., 19 ноября 2013 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2014. – С.50-58.

39. Пат. 48190 Україна, МПК(2009) В23К 26/00. Спосіб отримання самогострюваних різальних елементів деталей машин / Аулін В.В., Бобрицький В.М., Тихий А.А. та ін.; заявник і патентоотримувач КНТУ. – №u200909376; заявл. 11.09.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

40. Гуреев Д.М. Основы физики лазеров и лазерной обработки материалов / Д.М. Гуреев, С.В. Ямщиков. – Самара: СамГУ, 2001. – 393с.

41. Пат. 33420 Україна, МПК А01В 7/00 (2006). Дисковий робочий орган ґрунтообробних знарядь / Аулін В.В., Зайцев О.Ю., Жулай О.Ю. та ін.; заявник і патентоотримувач КНТУ. – №u200800971; заявл. 28.01.2008; опубл. 25.06.2008; Бюл.№ 12.

42. Аулін В.В. Деякі закономірності зношування елементів трибосистеми "РОГМ-ґрунт" / В.В. Аулін, А.А. Тихий / Зб. тез матеріалів міжнародної науково-практичної конференції "Ольвійський форум - 2012", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.57-59.

43. Пат. 48191 Україна, МПК(2009) G01N 3/56. Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М.; заявник і патентоотримувач КНТУ. – №u200909377; заявл. 11.09.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

44. Пат. 48306 Україна, МПК(2009) G01M 13/00, G01N 33/24, E21B 49/00.

Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u200910224; заявл. 08.10.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

45. Пат. 49553 Україна, МПК(2009) G01M 13/00. Лабораторний стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Лізунов С.М. та ін.; заявник і патентотримувач КНТУ. – №u200910485; заявл. 16.10.2009; опубл. 26.04.2010; Бюл.№ 8.

46. Артем А.Н. Оптимизация параметров рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин / А.Н. Артем // Совершенствование технологий и технических средств в АПК. – Барнаул, 2001. – С. 55-57.

47. Бледных В.В. Совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе математического моделирования технологических процессов: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.20.01 "Механизация сельскохозяйственного производства"/ В.В. Бледных. – Л.: Пушкин, 1989. – 37 с.

48. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 1982. – 212 с.

49. Пат. 53489 Україна, МПК(2009) C21D 1/00. Ендогенератор з псевдозрідженим шаром / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М.; заявник і патентотримувач КНТУ. - №u201003818; заявл. 02.04.2010; опубл. 11.10.2010; Бюл.№ 19.

50. Аулін В.В. Вплив характеристик компонентів контактуючих композиційних матеріалів і покриттів на параметри та властивості зони тертя / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2006. – №4 (42) – С. 110-112.

51. Аулін В.В. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень по виборі технологій зміцнення робочих поверхонь деталей машин і обладнання / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2014). Тези 7-ої Міжнар. наук.-практ. конф. 19-20 травня 2014 року, Київ, К.:НАУ, 2014. – С. 280-282.

52. Аулін В.В. Програмно-технічні засоби автоматизованої системи керування технологічним процесом зміцнення деталей композиційними матеріалами / В.В. Аулін, В.А. Бісюк // Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК 2010). Третя міжнар. наук.-практ. конф. 24-26 травня 2010 року, Київ, Україна –К.: НАУ, 2010. – С.143-145.

53. Пат. 45791 Україна, МПК(2009) F16J 1/00 Спосіб отримання заданої форми та шорсткості внутрішньої поверхні гільзи циліндрів двигунів / Лисенко С.В., Голуб Д.В., Кузик О.В., Лівіцький О.М., Лізунов С.М., Тихий А.А., Слонь В.В.; Заявл. 15.06.2009; Опубл. 25.11.2009; Бюл.№ 22, 2009 р.

54. Аулін В.В. Абразивна зносостійкість лазерно-модифікованих композиційних покриттів / В.В.Аулін // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосп. виробн., галузеве машинобуд., автоматизація. – Вип. 12. – 2003. – С.219-223.

55. Аулін В.В. Аналогія механізмів формування мартенситних структур у зоні тертя та при обробці матеріалу концентрованими потоками енергії / В.В. Аулін, О.В. Кузик / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум – 2013", 7-8

червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. П.Могили, 2013. – С.84-86.

56. Аулін В.В. Вплив на зносостійкість композиційних матеріалів процесів, що протікають на межі їх складових / В.В. Аулін, Ф.Й. Златопольский, В.М. Бобрицький // Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 4-й междунар. научн.-техн. конф., 24-26 мая 2005, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2005. – С.289-291.

57. Аулін В.В. Вплив закону розподілу легуючих елементів на трибологічні властивості поверхонь тертя / В.В. Аулін, Т.М. Ауліна, О.С. Магопечь та ін // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – Хмельницький. – 2001. – №2 (18). – С.69-76.

58. Аулін В.В. Фізичне обґрунтування впливу елементного складу КМ і КП на їх зносостійкість / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батехін та ін. // Вісник ХНТУСГ / Вип. 39. Техн. сервіс АПК, техніка та техн. у сільськогосп. машинобуд. – Харків. – 2005.-С.290-298.

59. Аулін В.В. Вдосконалення стенду для випробування робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Тези доповідей студентів і магістрантів на XLIV наук. конф. та аспірантів і викладачів на XLI наук. конф. 22 квітня 2010 року. Кіровоград: КНТУ, 2010.– С. 1101-1103.

60. Аулін В.В. Самоорганізація геометричної форми різальних елементів РОГМ / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практик. конф. «Ольвійський форум 2010» Секція «Трибологія та ресурсозбереження», 11-15 червня 2010 Ялта. – С.7

61. Аулін В.В. Упрочнение и восстановление свойств рабочих поверхностей деталей концентрированными потоками энергии / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практик. конф. «Ольвійський форум 2010» Секція «Трибологія та ресурсозбереження», 11-15 червня 2010 Ялта. – С.37-38

62. Аулін В.В. Підвищення надійності трибосистем реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін // М-ли III міжнар. наук.-техн. конф.: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009.-С 15-17.

63. Аулін В.В. Відображення характеру поверхневого зміцнення матеріалів трибоелементів на зміні електромагнітних, фізико-механічних і трибологічних їх властивостей / В.В. Аулін // Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практик. конф. «Ольвійський форум 2010» Секція «Трибологія та ресурсозбереження», 11-15 червня 2010 Ялта. – С.13-14

64. Аулін В.В. Вплив мікронерівностей на температуру в точках дотику зони тертя/ В.В. Аулін, С.М. Лізунов// Сучасні проблеми триботехніки / М-ли міжнар. наук. техн.- конф., 27-29 вересня. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 80-82.

65. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни шорсткості поверхні деталей після лазерної обробки/ В.В. Аулін, С.М Лізунов// Зб. наук. праць КНТУ "Техніка в сільгосп. виробн., галузеве машинобуд., автомат.". – Кіровоград: КНТУ. – 2007. – Вип. 18. – С.98-104.

66. Аксьонов О.Ф. Методологія визначення протиспрацьовувальних властивостей мастил за критеріями трибохарактеристик утворюваних у них вторинних структур / О.Ф. Аксьонов, О.У. Стельмах, С.П. Шимчук та ін. // Вісник НАУ. – 2006. – №2. – С. 62–64.

67. Гершман И.С. Самоорганизация вторичных структур при трении / И.С.

Гершман, Н.А. Буше, А.Е. Миронова, В.А. Никифоров // Трение и износ (Friction and wear). – 2003. – Т.24, №3. – С.329-334.

68. Аулін В. В. Концепція управління технічним станом і безпекою експлуатації транспортних засобів сільськогосподарського виробництва / В. В. Аулін, О. М. Лівіцький // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – Луганськ: СНУ, 2010. – №6(148) – С. 173-177.

69. Аулін В.В. Нерівноважні фазові перетворення матеріалів в умовах лазерної обробки та їх вплив на триботехнічні характеристики / В.В. Аулін, О.В. Кузик / Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійського форуму - 2014", 4-7 червня 2014, Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2014.-С.46-48.

70. Аулін В.В. Поле напружень в композиційному матеріалі та композиційному покритті в умовах тертя ковзання /В.В. Аулін// Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2006. – №.65(88) – С.13-20.

71. Аулін В.В. Структурні перетворення в конструкційних матеріалах, що знаходяться в нерівноважених умовах / В.В.Аулін, Ф.Й.Златопольський, С.М.Лізунов // Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 4-й междунар. научн.-техн. конф., 25-27 мая 2004, г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2004. – С.38-40.

72. Аулін В.В. Особливості впливу лазерної обробки на матеріали деталей сільськогосподарської техніки при їх термозміцненні / В.В. Аулін, С.О. Магопечь, О.С. Магопечь, Т.М. Ауліна, С.М. Лізунов // Конструкція, виробництво та експлуатація сільськогосп. техн. / Вип. 34. – Кіровоград: КНТУ. – 2004. – С.229-233.

73. Аулін В.В. Поверхнева сегрегація атомів в конструкційних матеріалах, підлеглих лазерній обробці та вплив її на трибологічні властивості / В.В. Аулін, С.О. Магопечь, С.М. Лізунов, В.М. Бобрицький // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосп. виробн., галузеве машинобуд.". – Вип. 13. – 2003. – С.289-294.

74. Аулин В.В. Аномалия структурных превращений и массопереноса в металлах при лазерном воздействии/В.В.Аулин, Н.М.Боранбаева, С.Д.Звонков//Сб. трудов 11-й Дальневосточной шк.-семинар по физ. и хим. твёрд. тела.Благовещенск:1988.–Т.2.–С.66-70.

75. Аулин В.В. Электропроводность меди после лазерного воздействия / В.В.Аулин, Г.М.Ашмарин, М.Ю. Голубев // Металлы. – АН СССР, 1986. –№5.–С.147-151.

76. Аулін В.В. Способи зменшення енергетичних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий, С.В. Лисенко, В.М. Бобрицький // Зб. Експрес – новини: наука, техніка, виробництво. К.: УкрНТЕІ, 2011. – №8. – С. 36-37

77. Аулін В.В. Залежність інтенсивності зношування деталей від технологічних факторів лазерної обробки / В.В.Аулін, С.М.Лізунов, В.М.Бобрицький // Вісник ХДГУСГ. – Вип.15. "Підвищення надійності відновлюємих деталей машин". – Харків, 2003. – С.101-105.

78. Бровер А.В. Самоорганизация поверхностных слоев металлических материалов при обработке концентрированными потоками энергии / А.В. Бровер, Л.Д. Дьяченко // Упрочняющие технология и покрытия. – 2007. – №3. – С.8-14.

79. Бровер Г.И. Особенности массопереноса в сталях при лазерном воздействии / Г.И. Бровер, А.В. Бровер, Л.Д. Дьяченко // Материаловедение. – 2006. –

№3. – С7-11.

80. Веденов А.А. Физические процессы при лазерной обработке материалов / А.А. Веденов, Г.Г. Гладуш – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 207 с.

81. Калашникова М.С. Повышение служебных свойств поверхности конструкционных низкоуглеродистых сталей методом лазерного легирования: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.03.06 "Сварка и родственные процессы и технологии" / М.С. Калашникова. – Екатеринбург, 2003. – 16с.

82. Зенкин М.А. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий: Монография / М.А. Зенкин, В.И. Копылов. – К.: 2002. – 272 с.

83. Аулін В.В. Динаміка зміни напружено-деформованого та зносного стану РЕ РОГМ при різних варіантах зміцнення / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ, 2010. – №3 – С.54-59.

84. Віхрова Л.Г. Розробка комп'ютеризованої АСУ процесом зміцнення деталей СГТ індукційним наплавленням/ Л.Г. Віхрова, В.В. Аулін, В.А. Бісюк// Вісник ХНТУСГ /Вип. 57. Проблеми енерго-забезп. та енерго-збереження в АПК України.Том2.–Харків.–2007.-С.213-219.

85. Аулін В.В. Залежність якості від керованих параметрів індукційного наплавлення зміцнюючих композиційних покриттів / В.В. Аулін, О.В. Кузик / Матеріали міжнар. наук. – техн. конф.: "Актуальні проблеми інж. механіки", 25-26 жовтня 2011р. – Миколаїв: НУК, 2011.- С 78-79.

86. Аулін В.В. Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.120-126.

87. Аулін В.В. Самозагострювання різальних елементів ґрунтообробних і землерийних машин в умовах зміцнення їх робочих поверхонь / В.В. Аулін, С.О. Карпушин, А.А. Тихий // Сб. науч. трудов "Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного университета". Харьков: ХНАДУ, 2012. – вып. 57 – С. 188-194.

88. Аулін В.В. Визначення параметрів шорсткості поверхонь тертя на ПЕОМ за їх профілограмами та зображеннями / В. В. Аулін, В. М. Лисенко // Матеріали міжнар. наук. – техн. конф.: "Актуальні проблеми інж. механіки", 25-26 жовтня 2011р. – Миколаїв: НУК, 2011.- С 80-81

89. Аулін В.В. Деякі закономірності взаємодії в трибосистемі "робочий орган ґрунтообробної машини – ґрунт" / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Матеріали міжнар. наук. – техн. конф.: "Актуальні проблеми інж. механіки", 25-26 жовтня 2011р. – Миколаїв: НУК, 2011.- С 79-80.

90. Емельянов С.В. Новые типы обратной связи: управление при неопределенности / С.В. Емельянов, С.К. Коровин. – М.: Наука, 1997. – 352 с.

91. Аулін В.В. Принципи автоматичного керування процесами в триботехнічних системах / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №4 – С.129-136.

92. Бибииков Ю.Н. Многочастотные нелинейные колебания и их бифуркации / Ю.Н.Бибииков. – Л.: ЛГУ, 1991. – 144 с.

93. Ваганова Н.И. Действие автоколебаний на критические флуктуации / Н.И.Ваганова, О.Д.Ваганов, Э.Н.Руманов // Доклады РАН. – 2004. – Т. 396. – №2.– С.174–177.
94. Крагельский И.В. Фрикционные колебания/И.В.Крагельский, Н.В.Гитис . – М.: Наука, 1987 – 181с.
95. Андрианов И.В. Асимптотическая математика и синергетика: путь к целостной простоте / И.В.Андрианов, Р.Г.Баранцев, Л.И.Маневич. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с.
96. Олемской А.И. Синергетика сложных систем. Феноменология и статистическая теория / А.И.Олемской. – М.: КРАСАНД, 2009. – 384 с.
97. Руденко А.П. Критерии открытых систем, обеспечивающие процессы самоорганизации и прогрессивной эволюции / А.П. Руденко // Синергетика. Тр. семинара "Проблемы открытости сложных эволюц.". – М.: МИФИ, 2004. – Т.7. – С. 22–35.
98. Аулін В.В. Системно-спрямований підхід та синергетична концепція реалізації процесів і станів самоорганізації матеріалів елементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобуд., автоматизація, вип. 27. – Кіровоград, 2014. – С.78-87.
99. Колесников А. А. Основы теории синергетического управления / А.А.Колесников. – М.: Фирма "Испо-Сервис", 2000. – 264 с.
100. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Механические и электрические системы / [А.А.Колесников и др.]– М.:КомКнига,2006.– 304с.
101. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами/Л.Н.Волгин.-М.: Наука, 1986. – 210с.
102. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем / В.А. Зорин. – М.: ООО "Магистр-Пресс", 2005. – 536 с.
103. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин/ Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1984. – 20 с.
104. Принципы самоорганизации. Пер. с англ. А.Я. Лернера.–М.:Мир,1966. – 621 с.
105. Климонтович Ю.Л. Критерии относительной упорядоченности открытых систем / Ю.Л.Климонтович // Успехи физич. наук. – 1996. – Т.166, №11. – С. 1231–1243.
106. Любимов Д.Н. Трение и теория относительности: временные аномалии в трибосистемах: Монография / Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов. – Шахты: ФГ БОУ ВПО "ЮРГУС", 2011. – 126 с.
107. Кирыков П.П. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений / П.П.Кирыков, С.И.Сенашёв С.И., А.Н.Яхно. – Новосибирск: СО РАН, 2001. – 192 с.
108. Черноусько Ф.Л. Методы управления нелинейными механическими системами / Ф.Л.Черноусько, И.М.Ананьевский, С.А.Решмин. – М.: Физматлит, 2006. – 328 с.
109. Дородницын В.А. Симметрия нелинейных явлений. Компьютеры и

нелинейные явления. Информатика и современное естествознание /В.А.Дородницын, Г.Г.Еленин. – М.: Наука, 1988. – С. 123–191.

110. Клименко Л.П. Повышение долговечности цилиндров ДВС на основе принципов переменной износостойкости. Монография/Л.П.Клименко.–Николаев.:НФ НаУКМА,2001.–294с.

111. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении/ Б.И. Костецкий //Трение и износ, 1985. – Т.VI, №2. – С.201-212.

112. Аулін В.В. Вплив модифікування композиційних моторних олив магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей / В.В. Аулін, О.В. Кузик, О.Д. Мартиненко // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства ім. П.Василенка /Вип. 118. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у с/г машинобудуванні. – Харків. – 2011.-С.268-273

113. Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум - 2012", 6-10 червня 2012, – Ялта., т. 12. – С.60-62.

114. Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления. / Н.Д. Егупов, К.А. Пупков. – в 5т. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – Т.3. – 616 с.

115. Буше Н.А. Роль необратимых процессов в совместимости трибосистем / Н.А. Буше // Железные дороги мира. – 2003. – №2. – С.38-41.

116. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине: Пер. с англ. И.В. Соловьева / Н.Винер под ред. Г.Н. Поварова. – 2-е изд. – М.: Сов. радио, 1968.–326с.

117. Лузин Н.Н. К изучению матричной теории дифференциальных уравнений / Н.Н. Лузин // Автоматика и телемеханика. – 1940 – т.1, №5 – С. 3-66.

118. Пулька Ч.В. Технологічна та енергетична ефективність індукційного наплавлення тонких ступеневих дисків: автореф. дис. наук.ступеню. д.-ра техн. наук: спец.05.03.06 "Зварювання та споріднені технології"/Ч.В.Пулька. – Київ, 2006. – 35с.

119. Аулін В.В. Зміна фізико-хімічних показників моторної оливи дизелів автосамоскидів в процесі експлуатації / В.В. Аулін, В.В. Слонь, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ /техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/– вип. 25., частина 1 – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 98-103

120. Віхрова Л.Г. Керування та моніторинг процесів приготування композиційних матеріалів та нанесення композиційних покриттів на деталі машин / Л.Г. Віхрова, В.В. Аулін, В.А. Бісюк, В.М. Бобрицький // Вісник ХНТУСГ / Вип. 37. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Том 2. – Харків. – 2005.-С.174-178.

121. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: дис... доктора технічних наук: 05.02.04 / Аулін Віктор Васильович. – Кіровоград, 2014. – 447 с.

122. Тихий А.А. Керування процесами зношування робочих органів ґрунтообробних машин в гетеро фазному середовищі ґрунту: дис.... Кандидата технічних наук: 05.02.04 / Тихий Андрій Анатолійович. – Кіровоград, 2012 – 200 с.

Наукове видання

Аулін Віктор Васильович
Тихий Андрій Анатолійович

**ТРИБОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І
НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН З
РІЗАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

Монографія

Українською мовою

Редактор – Аулін В.В.
Технічний редактор – Лисенко В.Ф.
Комп'ютерний набір – Тихий А.А.

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. .
Облік. видав. арк. Тираж 300. Зам. .

Видавець і виготовлювач СПД ФО Лисенко В.Ф.
25029, м. Кіровоград, вул. Пацаєва, 14, корп. 1, кв. 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3904 від 22.10.2010
тел.: (0522) 322-326