Аулін В.В.

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ В ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Кіровоград 2014

УДК 531.43:621.891
А
ББК

Друкується згідно рішення вченої ради Кіровоградського національного технічного університету, протокол № 1 від 01.10.13 р.

Рецензенти:

Ляшенко Б.А. – д.т.н., проф., завідувач лабораторії, Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ

Диха О.В. – д.т.н., проф., завідувач кафедри зносостійкості і надійності машин, Хмельницький національний університет;

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

Аулін В.В.

Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: Монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: КОД, 2014. – 370 с.

ISBN

В монографії з позицій системно-спрямованого підходу та синергетичної концепції представлені результати досліджень процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах, дано фізичне обґрунтування їх особливостей та механізмів реалізації, наведені фізичні та математичні моделі, проаналізовані ознаки і умови здатності матеріалів трибоелементів, робочих та технологічних середовищ до прояву різних форм, типів і видів самоорганізації, розглянуто їх взаємозв'язок.

Проаналізовані закономірності еволюційного розвитку систем, з'ясовані принципи та запропоновані схеми автоматичного керування процесами та станами в триботехнічних системах.

Виявлені можливості наявності процесів і станів самоорганізації для підвищення зносостійкості елементів та триботехнічних систем в цілому.

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

ББК

ISBN

© Аулін В.В., 2014
© Кіровоградський національний технічний університет, 2014
© ТОВ "КОД", друк, 2014

ЗМІСТ

стор.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ..... 6
ВСТУП..... 8

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ СИНЕРГЕТИКИ, ПРОЦЕСІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ, СИНЕРГЕТИЧНОЇ КОНЦЕПЦІЇ ТА СИСТЕМНО-СПРЯМОВАНОГО ПІДХОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

1.1 Основні поняття синергетики та їх зв'язок з характеристиками триботехнічних систем..... 11
1.2 Форми прояву самоорганізації елементів триботехнічних систем, їх характеристики та параметри..... 29
1.3. Принципи синергетичної концепції виявлення природи самоорганізації процесів і станів в триботехнічних системах..... 35
1.3.1 Узагальнені принципи синергетики..... 35
1.3.2 Зміст та характеристика принципу розумного керування..... 37
1.3.3 Зміст та характеристика принципу універсального еволюціонізму. 39
1.3.4 Зміст та характеристика принципу "Бритва Оккама"..... 41
1.3.5 Зміст та характеристика принципу самоорганізації..... 42
1.3.6 Системно-спрямований підхід до вивчення процесів і станів в системах та принцип симетрії..... 44
1.3.7 Синергетика і концепція розвитку систем..... 45
1.3.8 Зміст принципів підпорядкування і відповідності Н. Бора..... 47
1.3.9 Зміст принципів, зв'язаних з властивостями ентропії та її виробництвом..... 48
1.3.10 Зміст та характеристика принципу найменшої дії..... 52

РОЗДІЛ 2 ОЗНАКИ ЗДАТНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ТРИБОЕЛЕМЕНТІВ, РОБОЧИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ

2.1 Необоротність протікання процесів в триботехнічних системах..... 57
2.2 Відкритість триботехнічних систем по відношенню до зовнішнього середовища..... 59
2.3 Нерівноважність станів триботехнічної системи..... 60
2.4 Нелінійність процесів в триботехнічних системах та властивостей матеріалів трибоелементів, робочих та технологічних середовищ..... 62
2.5 Флуктуаційність величин, що визначають процеси і стани триботехнічної системи..... 64
2.6 Нестійкість стану триботехнічних систем..... 65
2.7 Кооперативність та когерентність в триботехнічних системах..... 66
2.8 Дисипативність процесів та структур матеріалів трибоелементів, робочого та технологічного середовищ..... 68

2.9 Складність триботехнічних систем..... 72

РОЗДІЛ 3 ФІЗИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ ТА ЇХ МОЖЛИВОСТЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Взаємодія і симетрія в триботехнічних системах..... 73
3.2 Рівноважні термодинамічні процеси і фазові переходи в матеріалах трибоелементів, робочих та технологічних середовищах..... 78
3.3 Критичні явища і метастабільність матеріалів трибоелементів, робочих та технологічних середовищ в триботехнічних системах..... 92
3.4 Лінійні нерівноважні термодинамічні процеси в триботехнічних системах..... 95
3.5 Нелінійні нерівноважні термодинамічні процеси в триботехнічних системах..... 100
3.6 Нерівноважні фазові переходи в матеріалах трибоелементів, робочих та технологічних середовищах..... 106
3.7 Нерівноважні стани триботехнічних систем та їх елементів..... 109
3.8 Створення зносостійкості структур матеріалів трибоелементів на різних рівнях їх нерівноважності..... 115
3.9 Вплив характеристик наповнювача та фазових перетворень в матриці на зносостійкість трибоелементів з гетерогенних композиційних матеріалів і нанесених композиційних покриттів в абразивному середовищі..... 125
3.10 Реалізація процесів самоорганізації в поверхневому шарі матеріалів трибоелементів під дією лазерного випромінювання..... 131
3.11 Синергетика мартенситних структур матриці композиційних матеріалів трибоелементів..... 139
3.12 Кооперативні процеси прискореного масопереносу в матеріалах трибоелементів у полі лазерного випромінювання..... 144
3.13 Розвиток явища механічної самоіндукції в триботехнічних системах при реалізації процесів самоорганізації..... 146
3.14 Самоорганізація в триботехнічних системах з мастильним середовищем..... 152
3.14.1 Фізичні основи явищ самоорганізації і облітерації мастильних середовищ в зазорах трибоспряжень деталей..... 152
3.14.2 Фізичне обґрунтування поведінки мастильного середовища поблизу твердої поверхні трибоелемента та реалізація процесів її самоорганізації..... 164
3.15 Сукупність фізичних процесів і загальний критерій можливості реалізації ефекту самоорганізації..... 175
3.16 Характер зміни ентропії в триботехнічній системі..... 181
3.17 Зміна зносостійкості елементів триботехнічних систем під дією модифікуючого впливу фізичних полів..... 190

3.18 Самоорганізована критичність матеріалів елементів триботехнічних систем в процесі їх тертя і зношування..... 196

РОЗДІЛ 4 ЗАКОНОМІРНОСТІ ЕВОЛЮЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ТА ПРИНЦИПИ СИНЕРГЕТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ І СТАНАМИ В ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

4.1 Типи зв'язків триботехнічних систем із зовнішнім середовищем в процесі її розвитку..... 202
4.2 Адаптація і організація в триботехнічних системах при їх інформаційній взаємодії із зовнішнім середовищем..... 204
4.3 Загальні закономірності еволюції триботехнічних систем з позицій синергетичного і системно-спрямованого підходів..... 211
4.4 Рівневий підхід до дослідження процесів тертя і зношування в триботехнічних системах..... 226
4.5 Синергетика матеріалів елементів самоорганізуючих триботехнічних систем..... 232
4.6 Керування самоорганізацією матеріалів елементів триботехнічних систем на основі загальних ознак і закономірностей..... 240
4.7 Керування самоорганізацією форми різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин на основі технологій зміцнення їх робочих поверхонь..... 249
4.7.1 Зміна профілю двошарового різального елемента..... 249
4.7.2 Зміна профілю багатошарового різального елементу в процесі самоорганізації..... 255
4.7.3 Закономірності зношування зміцнених поверхонь та зміна профілю зразків різальних елементів в абразивному середовищі ґрунту 258
4.8 Синергетичне керування процесами і станами в режимі вибіркового перенесення в триботехнічних системах з мастильним середовищем..... 270
4.9 Використання технологій відновлення для синергетичного керування процесами і станами в триботехнічних системах з мастильним середовищем..... 290
4.10 Принципи автоматичного керування процесами і станами в триботехнічних системах..... 297
УЗАГАЛЬНЕННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ..... 309
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 335

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АЗ – абразивне зношування
АК – автоматичне керування
АСК – автоматична система керування
АТТ – автотранспортна техніка
АЧ – абразивна частинка
ВЗЗ – від'ємний зворотній зв'язок
ВМТ – верхня мертва точка
ВП – вибіркове перенесення
ВС – вторинні структури
Г-Л – теорія фазового переходу Гінзбурга-Ландау
ГМТ – геомодифікатор тертя
ГС – гексагональна структура
ГЦК – гранецентрована кубічна гратка
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання
ДЗ – динамічний зв'язок
ДЗЗ – додатній зворотній зв'язок
ДН – діапазон нормалізації
ДС – дисипативні структури
ЕБК – електронний блок керування
ЕП – електричне поле
ЕРК – епітропно-рідкий кристал
ЕСКД – електронна система керування двигуном
КМ – композиційний матеріал
КП – композиційне покриття
КПЕ – концентровані потоки енергії
КТР – коефіцієнт теплового розширення
КФП – кінетичний фазовий перехід
КШМ – кривошипно-шатунний механізм
ЛВ – лазерне випромінювання
ЛО – лазерна обробка
МП – магнітне поле
МСГТ – мобільна сільськогосподарська техніка
МФП – мультифакторна параметризація
НДС – напружено-деформований стан
НМТ – нижня мертва точка
НОТ – нормально-окислювальне тертя
ОВШП – орієнтаційно-впорядкований пристінний шар
ОКП – оптико-кореляційна параметризація
ПАР – поверхнево-активна речовина
ПК – персональний комп'ютер
ПММ – паливно-мастильний матеріал
ПНД – принцип найменшої дії

ПТ – полімер тертя
ПФМ – плівка фрикційного матеріалу
ПФП – плівка фрикційного покриття
РЕ – різальний елемент
РК – рідкий кристал
РН – рівень нормалізації
РО – робочий орган
РОҐМ – робочий орган ґрунтообробних машин
САР – система автоматичного регулювання
СВЧ – струм високої частоти
СГТ – сільськогосподарська техніка
СОК – самоорганізована критичність
СТЗ – статистичний зв'язок
ТЕ – трибоелемент
ТЗ – транспортний засіб
ТІ – трибоімпульс
ТТВ – технологія триботехнічного відновлення
ТТС – триботехнічна система
ТФП – термодинамічний фазовий перехід
ТХП – трибохімічний процес
ФМС – фулерено-мастильна суміш
ФН – фрикційна непровідність
ФП – фазовий перехід
ФП-1 – фазовий перехід I роду
ФП-2 – фазовий перехід II роду
ФПМ – фрикційна полімеризація
ФР – фрактальна розмірність
ФТТ – фізика твердого тіла
ХАР – хімічно-активна речовина
ХТО – хіміко-термічна обробка
ЦПГ – циліндро-поршнева група

ВСТУП

Знос робочих поверхонь деталей, спряжень, агрегатів і машин в цілому – одна з основних причин зниження їх ресурсу. Керування процесами тертя і зношування, вибір і розробка методів і заходів підвищення зносостійкості триботехнічних систем (ТТС) є нагальними проблемами для всіх областей техніки. Для ефективного їх вирішення необхідно знати закономірності зміни фізико-механічних, фізико-хімічних, трибологічних і реологічних характеристик та властивостей матеріалів трибоелементів (ТЕ) і середовищ, в яких вони працюють.

Серед основних напрямів підвищення зносостійкості ТТС можна зазначити наступні:

– вдосконалення конструкції ТЕ та їх спряжень;

– використання прогресивних матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ;

– використання ефективних технологій зміцнення, відновлення та модифікування матеріалів ТЕ, модифікування робочих та технологічних середовищ речовиною (наповнювачі, добавки, присадки та ін.) та обробкою фізичними полями (електричним, магнітним, електромагнітним, ультразвуком, лазерним випромінюванням та ін.);

– використання технологій прискореного припрацювання спряжень деталей;

– поліпшення умов експлуатації ТТС та вибір раціональних режимів їх функціонування;

– використання нових триботехнічних методів та технологій забезпечення надійної роботи деталей їх спряжень, агрегатів і машин в цілому та ін.

Останнім часом поширення набуває найбільш ефективний напрям, який забезпечує максимальну зносостійкість елементів ТТС і оптимальні параметри і режими тертя – реалізація процесів і станів самоорганізації поверхонь тертя деталей та прилеглих до них шарів робочих середовищ (ґрунт, мастильне середовище та ін.).

При реалізації різних типів і видів самоорганізації спостерігається ефект їх практичної беззносності за рахунок стабілізації технічного стану (рівнозносність і вибірковість процесу зношування) ТТС і протікання комплексу сприятливих процесів, які полягають у відновленні первісних геометричних розмірів і форми, характеристик та властивостей деталей в процесі зношування, відновленні властивостей та характеристик робочих середовищ з використанням для цього необхідних матеріалів та потоків речовини і різної за фізичною природою енергії.

Разом з тим природа, специфіка та механізм протікання процесів та формування станів самоорганізації насьогодні недостатньо досліджені як з теоретичної, так і експериментальної точок зору, остаточно не з'ясовано їх фізичні основи, типи, види та форми реалізації з використанням системно-спрямованого підходу та синергетичної концепції.

В монографії дано аналіз основних понять синергетики (система, самоорганізація, біфуркація, хаос, дисипація, флуктація, ентропія, виробництво ентропії, фрактал, аттрактор та ін.), адаптований до характеристик ТТС. Показано як ці поняття використовуються для аналізу процесів і станів самоорганізації ТТС. Розглянуто тлумачення самоорганізації в широкому і вузькому розумінні, форми її прояву у матеріалах трибоелементів, робочих та технологічних середовищ, дано характеристику самоорганізації з трибологічної точки зору та наведені відповідні параметри (коефіцієнт енергії, коефіцієнт експлуатаційного зміцнення, діапазон і рівень нормалізації та ін.). Показано, що ефективним шляхом реалізації процесів і станів самоорганізації в ТТС є розширення діапазонів і підвищення рівнів нормалізації процесів тертя і зношування та створення оптимальних умов адаптації ТЕ між собою та ТЕ і прилеглим до них шарами робочого (технологічного) середовища.

Через те, що основу синергетичної концепції досліджень та механізмів реалізації процесів і станів самоорганізації в ТТС складають синергетичні принципи, то в монографії дано їх аналіз, наведено зміст та характеристики, взаємозв'язок та важливість впливу кожного з них та їх сукупності, з'ясовано роль системно-спрямованого підходу та синергетичної концепції в еволюції розвитку ТТС. Особливу увагу надано принципу найменшої дії (ПНД), оскільки він розкриває сутність таких важливих властивостей ТТС як збережуваність, оптимальність, доцільність (пристосованість), яким відповідає послідовність форм квазікерування ТТС: флуктуація і інерційність, симетрія і принцип найменшої дії, компенсованість і зворотній зв'язок.

Показано, що надзвичайно різноманітні явища в ТТС можуть регулюватися такими загальними ознаками або синергетичними компонентами як необоротність, відкритість, нерівноважність, нелінійність, флуктуатаційність, нестійкість, кооперативність та когерентність, дисипативність, складність. Дано їх зміст, взаємозв'язок та вплив на реалізацію процесів і станів самоорганізації.

Наведені результати власних експериментальних та теоретичних досліджень та досліджень інших авторів по реалізації процесів і станів самоорганізації, дано фізичне їх обґрунтування, а також виявлено ряд можливостей ефективного підвищення зносостійкості елементів ТТС. Основну увагу зосереджено на дослідженнях ТТС сільськогосподарської техніки (СГТ), передусім "робочий орган ґрунтообробної машини (РОҐМ)-ґрунт" та спряжень деталей двигуна, взаємодії деталей та робочих органів (РО) з робочим та технологічним середовищем.

Розглянуто типи зв'язків ТТС із зовнішнім середовищем та інформаційне забезпечення процесів їх розвитку, проаналізовано закономірності взаємодії між спряженнями ТЕ, виявлені принципи керування процесами самоорганізації матеріалів ТЕ при лазерній обробці, самоорганізації форми різальних елементів (РЕ) РОҐМ, вибірковому переносі (ВП), використанні технологій триботехнічного відновлення (ТТВ) елементів та автоматичне керування (АК) процесами в ТТС.

Оскільки створення ТТС з керованим ресурсом є типовим завданням теорії оптимального керування, то розглянуті питання забезпечення значення певного критерію, що характеризує ефективність керування при заданих обмеженнях і реалізації процесів і станів самоорганізації. Такими обмеженнями можуть бути один або декілька параметрів, що визначають режим роботи трибоспряження, наприклад, температура в зоні тертя, діапазон навантажень та відносних швидкостей, діапазон напруженості фізичного поля, поданого на спряження деталей, швидкість або інтенсивність зношування, коефіцієнт тертя та ін.

Показано, що реалізація процесів і станів самоорганізації в ТТС дозволяє на декілька порядків зменшити інтенсивність зношування трибоспряжень деталей й забезпечити оптимальне значення коефіцієнту тертя, а отже суттєво підвищити їх зносостійкість та надійність. Доведено, що самоорганізація в ТТС супроводжується еволюційними процесами: формування оптимальної геометрії поверхні, форми деталей, утворення шару з дисипативними та вторинними структурами, антифрикційної металевої плівки на робочих поверхнях, формування процесів, що забезпечують мінімальну зношувальну здатність робочого середовища та ін.

Головним в розглянутих випадках є характер самоорганізуючого тертя, між ТЕ та станами робочого (технологічного) середовища, обумовленими обміном енергією і речовиною ТТС із зовнішнім середовищем, а також колективною поведінкою локальних ділянок поверхні тертя ТЕ та об'ємів робочого (технологічного) середовища, які перебувають в особливому стані, властивому тільки процесу тертя. При цьому характерним є те, що тертя не може знищити самоорганізаційної тенденції розвитку процесів і формування станів ТТС, оскільки воно їх відтворює.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ СИНЕРГЕТИКИ, ПРОЦЕСІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ, СИНЕРГЕТИЧНОЇ КОНЦЕПЦІЇ ТА СИСТЕМНО-СПРЯМОВАНОГО ПІДХОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

1.1 Основні поняття синергетики та їх зв'язок з характеристиками триботехнічних систем

Комплекс процесів, які відбуваються в ТТС, виявлення їх природи та можливостей використання для розробки нових більш ефективних методів підвищення зносостійкості, а отже і надійності їх елементів, доцільно проводити у міждисциплінарному напрямі наукових досліджень, в межах якого вивчаються порогові переходи; встановлюються закони структуроутворення на основі уявлень про активність матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ – резонансного збудження їх взаємодіючих локальних областей, тобто на основні синергетики.

Синергетика – від латинського слова sinergus – спільно діючий, вивчає зв'язки між елементами структури, а також поведінку відкритих дисипативних нелінійних систем, далеких від стану рівноваги. Їх стани та процеси досліджує нерівноважна термодинаміка, значний вклад в розвиток якої внесли Л.Онзагер, І.Пригожин, Г. Хакен, С. Грот, П. Мазур та ін. [396, 466-470, 541-543]. В таких системах іноді спостерігається погоджена поведінка їх підсистем (елементів, локальних областей), внаслідок чого зростає міра впорядкованості матеріалів, зменшується ентропія і реалізуються процеси і стани самоорганізації. В основі нерівноваженої термодинаміки лежить твердження про фундаментальну роль випадкових флуктуацій значень величин, що їх характеризують відносно рівноважних станів.

Поняття синергетики введене професором Штудгартского університету Г. Хакеном в 1973 році, в його відомій доповіді "Кооперативні явища в сильно нерівноважних і нефізичних системах", а в 1977 році виходить його праця "Синергетика" [542]. В цей час бельгійським вченим І. Пригожиним [469] розроблена теорія дисипативних структур (ДС), на сутності еволюції яких базується синергетика, вчення про детермінований хаос, про самоорганізацію [468]. Синергетика є теоретичною основою процесів і станів самоорганізації [162].

Самоорганізація (термін введений англійським кібернетиком У.Эшби в 1947 р.) – це процес, в якому з якихось причин самочинно створюється, відтворюється або удосконалюється організація складної динамічної системи [546].

Самоорганізація в найбільш загальному, широкому розумінні слова відображає сутність головної тенденції розвитку природи: рух від менш впорядкованих форм до більш складних форм організації матерії. У загальному випадку самоорганізація – це спонтанна поява іншої форми впорядковування

матерії, викликана порушенням стійкості її стану і більш високою – розвитком або більш низькою – деградація.

У вузькому розумінні самоорганізація – результат спонтанного переходу, за деяких умов, від простих форм організації систем до більш складних форм структури і поведінки.

До процесів самоорганізації відносять і процеси самозбирання (самодобудови) структур [463], самоорганізацію критичності [599], саморозповсюджуючий високотемпературний синтез і багато інших. Властивості самоорганізації відомі в різних природних і соціальних об'єктах.

Російський вчений М.М. Моісеєв [382, 383] дає своє поняття самоорганізації: самоорганізацією системи вважає такий процес зміни її стану або характеристик, який відбувається без цілеспрямованого початку, незалежно від джерела цілепокладання, тобто мова йде про стихію самоорганізації. При цьому причини, які обумовлюють процес самоорганізації, можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми. Якщо йде мова про матеріальний світ як єдину систему, то процес змін при цьому відбувається тільки за рахунок внутрішніх взаємодій, тобто за рахунок чинників.

Стосовно ТТС самоорганізацію можна уявити як процес взаємодії елементів, в результаті якої в нерівноважній нелінійній системі спонтанно виникає новий порядок (структура або поведінка); виникнення якісно нових впорядкованих структур при досягненні параметрами системи критичних (порогових) значень за відсутності специфічних зовнішніх дій.

Механізми самоорганізації матеріального світу, багатьох систем і підсистем, остаточно не виявлені. Останнє означає, що для багатьох з них ще не створено інтерпретацій, які мають сенс емпіричних узагальнень, які спираються на ті або інші гіпотези. Вважається, що пізнання механізмів самоорганізації і складає сутність фундаментальних наук.

Найважливішим поняттям синергетики є і уявлення про систему [537]. М.М. Моісеєв [383] вкладає в це поняття будь-яку сукупність взаємодіючих елементів. Разом з тим, незважаючи на тривіальність такого підходу до поняття системи, воно припускає нетривіальні наслідки.

Загальноприйняте поняття системи (від грецького sỳstema – ціле, складене з частин; з'єднання) пов'язане з уявленням про множину елементів, що знаходяться у відносинах і зв'язках один з одним, та утворюють певну єдність. Виділяють матеріальні і абстрактні системи. У сучасній науці дослідження систем різного роду здійснюється у межах системно-спрямованого підходу та аналізу. З цієї точки зору будь-який об'єкт вивчення є системою [181]. Цей факт має глибоке значення для наукового пізнання процесів і станів в ТТС.

Цей напрям зв'язує уявлення про характеристики та властивості системи з характеристиками та властивостями її елементів. Більше того, передбачалося, що характеристики та властивості систем будь-якої природи, в тому числі і ТТС, можна дослідити на основі вивчення властивостей елементів, її складових [77, 113, 181, 249].

Системи мають і особливі характеристики і властивості, вивчення яких є найважливішим напрямом досліджень кооперативних взаємодій, що відбуваються в ній. Деякі системи нібито визначають властивості своїх елементів, виключають деякі з них, якщо ці елементи виявляються нездатними виконувати певні функції, необхідні для їх стабільного існування. Взаємозв'язок властивостей системи і її елементів набагато глибший, ніж це прийнято: не лише властивості системи залежать від властивостей елементів, але і властивості елементів, що становлять систему, можуть залежати від її властивостей. Стабільність і розвиток системи, безперервне ускладнення організаційної структури і різноманітності її елементів є гомеостазисом.

Гомеостазис (від грецького homois – подібний, однаковий, stasis – нерухомий) – здатність системи протистояти змінам зовнішніх умов і зберігати відносну динамічну постійність параметрів внутрішнього стану, що дозволяють їй слідувати до своєї мети [382, 394].

У цілеприпущенні систем виявляється інший важливий аспект процесів і станів в природі взаємодіючих систем. Оскільки елементи підсистем у свою чергу також є системами, але іншого рівня організації, можна говорити і про слідування їх елементів (підсистем) до певної мети. Зазначимо, що ці цілі підсистем, далеко не завжди співпадають з цілями самої системи. Тому виникає уявлення про їх співрозвиток, або коеволюції. Це поняття означає такий розвиток підсистем (систем нижнього рівня), який не порушує розвитку загальної їх системи [446, 452].

Елементи системи самі розвиваються через механізми самоорганізації. Система не конструює елементи, а лише відбраковує непридатні, тобто служить своєрідним чинником природного відбору. В зв'язку з цим зазначимо, що якщо стане можливим знайти узагальнений опис схеми процесу самоорганізації систем неживої матерії, живої речовини і суспільства, то синергетика, може слугувати загальним принципом опису розвитку процесів і станів в них.

Сьогодні синергетика охоплює самі різні напрями наукового знання і є швидше не теорією, а методологією, науковою концепцією, парадигмою, новим світоглядом у межах світоустрою і його самоорганізації [303, 489].

Самочинне, не пов'язане з дією зовнішніх регулярних полів, впорядкована поведінка в нерівноважній ТТС є наслідок розвитку в ній певного виду нестійкості, коли рухи окремих її підсистем стають стохастичними (випадковими). Можливість виникнення в усій системі впорядкованого руху залежить від характеру колективної взаємодії підсистем. Система самоорганізовуватиметься, якщо стохастичні і колективні ефекти урівноважуються. В цьому випадку ТТС потрапляє в стан динамічної рівноваги, в якому стохастичні, нестійкі рухи усіх підсистем, погоджені між собою, завдяки їх колективній взаємодії [398]. Таким чином, явище самоорганізації слід розглядати як колективний процес в нерівноважній ТТС.

Основу наукової концепції синергетики складає уявлення про безперервну мінливість навколишнього світу за допомогою його еволюції, провідні сили якої знаходяться у самій природі, усередині суті явищ, рухів,

станів, мінливості об'єктів. Яких-небудь зовнішніх сил по відношенню до Природи і явищ, що відбуваються усередині неї немає, а є наслідком її самоорганізації. І ця самоорганізація протистоїть граничному стану систем та досягнення ними рівноважного стану або граничного хаосу [509, 543].

Хаос – це складний рівноважний неорганізований рух, що відбувається на мікрорівні і складний нерівноважний високоорганізований рух – на макрорівні [146]. Носієм або внутрішнім фактом самоорганізація є безперервна мінливість через флуктуації, які відображають спрямованість процесів, уникаючих рівноважності, що попереджують можливості досягнення абсолютного хаосу [581].

Зазначимо, що центральною проблемою теорії систем, в тому числі і ТТС, є проблема опису процесів і станів самоорганізації, виявлення механізмів та використання їх для керування зносостійкістю і надійністю елементів. По Г. Хакену самоорганізуючою називають систему, яка без специфічної дії ззовні набуває просторової, тимчасової або функціональної структури. Під специфічним впливом розуміють такий стан, який нав'язує системі структуру або функціонування. У разі самоорганізуючих систем, вони зазнають ззовні неспецифічного впливу [293].

Під мінливістю системи будемо розуміти постійно присутні у внутрішньому її стані випадковість і невизначеність, які можуть завжди проявитися в часі і сприяти зміщенню від досягнутої нею рівноваги в непередбачуваний час через непередбачуваність ситуації.

Спадковість як "пам'ять" системи в синергетиці розуміється більш ширше, ніж в теорії еволюції. Скоріше вона означає, що сьогодення і майбутнє будь-якої системи залежить від її минулого. Єдність навколишнього реального світу розуміється як гранична пам'ять про загальність. У вирі хаосу виникають випадковості, що призводять до організації впорядкованості в системі.

У теорії еволюції на основі синергетики принцип природного відбору може розумітися як відбір випадком через прояв його самого на основі флуктуацій, тобто випадкових відхилень миттєвих значень величин, що характеризують систему, від їх середніх значень. І хоча відбір в повному змісті слова в самоорганізуючих системах відсутній, він може тлумачитися як прояв тієї ж випадковості за допомогою законів збереження [583].

У синергетиці закріплено поняття біфуркації (від латин. слова bifurcus – роздвоєний, вилка), яке введене А.Пуанкаре, як процес раптового і випадкового переходу системи з одного стану в інший, із стійкого – в нестійкий стан. У природі закладено цей універсальний механізм роздвоєння (біфуркації) усього, що виникає в ній [290]. При цьому між ними не може існувати межі, яка б відокремила ліве від правого, гаряче від холодного і т.п. В системі повільно накопичуються збурення до тих пір, поки вона несподівано не втратить свою стійкість. Замість однієї стійкої рівноваги з'являється безліч положень рівноваг, і неможливо передбачити яке з них виявиться критичним й обумовить руйнування системи [197]. Характерним є те, що руйнування відбудеться несподівано, стрибкоподібно.

Таким чином, згідно синергетики хід еволюційного процесу в ТТС реалізується за схемою:

– початковий етап характеризується її повільним розвитком, який можна якимось чином передбачити;

– потім колективні внутрішні сили у вигляді адитивного або мультиплікативного ефекту, приводять її в критичний стан, викликаючи хаотичність поведінки, різкої зміни стабільних параметрів й наявність можливостей непередбачуваних сценаріїв різного розвитку подій;

– вихід з критичного стану є непередбачуваний, випадковий, стрибкоподібний;

– її новий стан після біфуркації визначається періодом нового тривалого розвитку, поки не настануть нові трансформації за принципом самоорганізації і т. д.

У зазначеному полягає спрямованість еволюції ТТС через стадії: стаціонарну, нестаціонарну, біфуркаційну, нову стаціонарну і т.д.

Біфуркація відіграє головну роль в еволюції систем, приводячи їх до нового стану, нового рівня організації, нової складності. З цієї точки зору еволюція – це безперервний процес переходу до складності, а від складності – до прискорення темпу розвитку. В складних ТТС процес спокійного розвитку менш тривалий, ніж у простих системах, оскільки у них більше внутрішніх і зовнішніх параметрів зміни. У цьому сенсі еволюція по І.Пригожину не може піти назад, вона необоротна. Спрямованість еволюції пов'язана з її ускладненням через самоорганізацію процесів, станів та структур систем.

Механізми, які керують процесами самоорганізації, відносять до механізмів збирання. Знаючи ці механізми, можна виокремити керуючі параметри систем, щоб передбачити напрям їх зміни або штучно перевести їх в новий стан. Момент переводу старого стану ТТС в новий, може визначатися тригером (спусковим механізмом) [342].

В деяких випадках властивості розвиваючих ТТС можна передбачити, спираючись на принцип мінімуму дисипації енергії. Але багато явищ насьогодні ще не можуть бути пояснені з позиції властивостей частинок, атомів, молекул і т.д., тому, як вихід використовуються такі поняття, як аномальні властивості [148].

Безперервність зміни структури матеріалів елементів ТТС визначається руйнуванням старих і виникненням нових їх структур. А різноманіття розбіжності гілок подій в ході еволюції не дає можливості обміну інформацією між подіями, що розділили ці гілки.

Нове, виникаюче із старого, має неповторні властивості і якості. Зв'язок нових і новітніх подій проявляється лише у дії єдиних законів, які однакові у будь-яких просторово-часових і матеріальних зв'язках – законах збереження.

Режим детермінованого хаосу пов'язаний з визначенням граничної траєкторії в обмеженій області фізичного простору, до якого прагне процес або система. Динамічний хаос складається із структур, які змінюють одна одну після закінчення часу перемішування, і тоді явище самоорганізації слід

розглядати як народження структури з хаосу структур [586]. Структури динамічного хаосу можуть відрізнятися не лише різноманітністю, але і симетрією форм. У динамічному хаосі є певна гармонія, що істотно відрізняє його від істинного хаосу, який не пов'язаний з будь-якими динамічними процесами [587].

Динамічна нестійкість руху в ТТС полягає у сильній розбіжності близьких в початковий момент траєкторій. Наслідком її є перемішування траєкторій, наявність яких і дозволяє перейти від повного опису на основі рівнянь руху усіх частинок до більш простих рівнянь для функцій, згладжених за об'ємом перемішування. В цьому випадку система частинок замінюється суцільним середовищем.

Відкриття останніх років [146] показали важливість значення властивостей хаосу. Топологічною і метричною мірою хаосу служить ентропія руху. В останньому випадку ентропія в першому наближенні дорівнює середній швидкості розтягу або середньої швидкості, з якої виробляється інформація про розтяг.

Поняття хаосу відноситься і до теорії динамічних систем, які складаються з двох частин: стану істотної інформації про систему і динаміки – правила, що описує еволюцію системи в часі. Еволюцію систем можна спостерігати в просторі станів. Динамічна система може розвиватися безперервно або дискретно в часі і просторі. Перше характеризується потоком, а друге – відображенням або іноді каскадом. Прикладом динамічної системи може служити маятник, який безперервно рухається від одного положення до іншого та описується динамічною системою з безперервним часом, тобто потоком.

У разі, коли створюється більш впорядкований стан в якій-небудь підсистемі за рахунок впливу ззовні, це вносить додатковий безлад в систему, тобто хаос. Під хаосом розуміють те, що зміна в часі стану системи є випадковою і невідтворною. Це означає швидше надзвичайну сприйнятливість кінцевого результату до малих змін в початкових умовах. Виділяють поняття класичного динамічного хаосу як нестійкість за початковими умовами, класичного хаосу інтегрованих систем Пуанкаре і дисипативного хаосу. Для дисипативного хаосу статистичний опис є єдино можливим підходом в його вивченні.

Для нормального функціонування систем необхідна деяка ступінь хаотичності у вигляді флуктуацій або періодичності. Зазначимо, що динамічна нестійкість у відкритих системах, у тому числі ТТС, може відіграти конструктивну роль, оскільки їх нерівноважність приводить до нового стану, який може бути джерелом впорядкованості.

Нелінійні самоорганізуючі системи, більш змістовні у порівнянні із закритими, лінійними, але їх складніше моделювати. У цих випадках синергетика відкриває можливість більш імовірного кількісного математичного опису нестабільності, різноманітності шляхів зміни і розвитку, та розкриває умови і механізми стійкості складних структур, дає можливість моделювати виникнення катастрофічних ситуацій [17, 246].

Одним з явищ впорядкованості структури в хаотичних системах є фрактали [182]. Фрактали – це геометричні форми з нерегулярною структурою, яка повторюється в різних масштабах. Властивості фракталів зазвичай зв'язують з множиною Бенуа-Мандельброта [370], яка може породжуватися різними способами і приймати різні форми. Вона є одним з найвідоміших математичних об'єктів. Зазначене свідчить, що самоподібність може лежати в розгадці формування будь-яких структур, в яких елементарне самоподібне структурному стану системи.

Іншою статистичною характеристикою систем, з точки зору синергетики, є аттрактор та його розмірність. Аттрактор (від латинського attraho – притягати) – точки або структури рівноваги, до яких "притягуються" фазові траєкторії; зображення у фазовому просторі стійкого стану системи; реальна структура або тип поведінки у відкритому нелінійному середовищі, на які виходять процеси [199]. Аттрактор – притягуюча множина, до якої мимоволі прагне система (підсистема). Щоб задати стан більш складної системи, може знадобитися декілька чисел, і у такому разі аттрактор може мати вищу розмірність. У класичній науці – це стан рівноваги маятника, а в сильно нерівноважних системах – стан стійкості, залежний від граничних умов, що задаються самим середовищем. Таким чином, аттрактори це геометричні структури, що характеризують поведінку системи у фазовому просторі після тривалого часу, тобто, це те, до чого прагне прийти система, до чого вона притягується. Іншими словами, математичним відображенням режиму функціонування дисипативної динамічної системи служить аттрактор – гранична траєкторія зображуючої точки у фазовому просторі, до якої прагнуть усі початкові режими. Найпростіший аттрактор – нерухома точка. Існують наступні види аттракторів: точки, граничні цикли і тори. Для багатьох систем з випадковою поведінкою вдалося знайти простий хаотичний аттрактор (коливання концентрації речовин, коливальні процеси та ін.) [276].

Д. Рюелем і Ф.Такенсом в 1971 році введено особливий термін для опису складних рухів в нелінійних дисипативних динамічних системах – дивний аттрактор. Термін підкреслює дві властивості аттрактора: незвичність його геометричної структури, яка може бути представлена у вигляді кривих або площин, тобто геометричних елементів цілої розмірності, і розмірність, яка є дробовою або фрактальною [281, 282]. Дивний аттрактор – це притягуюча область для траєкторій з навколишніх областей, усі траєкторії усередині якої динамічно нестійкі [277].

Складність і багатогранність проявів процесів тертя і зношування в ТТС свідчить про те, що вони не можуть бути описані простим фундаментальним законом. Їх дослідження потребує комплексного поєднання передусім системно-спрямованого підходу та синергетичної концепції, в якому поєднуються фундаментальні положення трибології з побудовою на цій основі узагальнених залежностей для розв'язання практичних задач триботехніки. При цьому доцільно використати досягнення трибологічної фізики і синергетики, як теоретичної основи самоорганізації й утворення впорядкованих ДС в

матеріалах ТЕ, робочих та технологічних середовищ, для підвищення зносостійкості та надійності функціонування ТТС та їх елементів.

Експериментальною та теоретичною основою комплексу явищ тертя і зношування є: положення про провідні і супутні види зношування; узагальнена структурно-кінетична класифікація видів поверхневого руйнування, побудована по структурній і енергетичній ознаках; загальна закономірність тертя і зношування [318, 326, 454] та ін.

ТТС – це відкриті термодинамічні системи, які обмінюються з зовнішнім середовищем субстанцією (речовиною, енергією, імпульсом та інформацією). Якщо відхилення ТТС від стану рівноваги невелике, то нерівноважний стан можна описати тими ж параметрами (температура, навантаження, відносна швидкість руху, хімічний потенціал та ін.), що і рівноважний стан. Однак відхилення параметрів від рівноважних значень викликають потоки речовини і енергії в самій ТТС.

У відкритій ТТС (рис. 1.1) зміну ентропії можна розкласти на дві складові [207]:

$$dS = dS_e + dS_i, \tag{1.1}$$

де dS_e – зміна ентропії, що обумовлена обміном субстанцією з зовнішнім середовищем; dS_i – зміна ентропії всередині самої системи.

Рисунок 1.1 – Схематичне уявлення виробництва і потоку ентропії у ТТС: – набір характеристик ТТС ($x_{ТТС}$) і зовнішнього середовища ($x_{ЗС}$): c; $c_{ЗС}$; $p_{ТТС}$; $p_{ЗС}$; $T_{ТТС}$; $T_{ЗС}$ – відповідно концентрація, тиск та температура

Відкрита система відрізняється від ізольованої вмістом у виразі зміни ентропії першим доданком dS_e. При цьому знак dS_e може бути будь-яким на відмінну від додатного знаку доданка dS_i.

Зазначимо що, нерівноважний стан для якого виконується умова: $S < S_{max}$, є більш високоорганізований, ніж рівноважний, для якого: $S \Rightarrow S_{max}$.

Таким чином, еволюцію ТТС до більш високого порядку можна уявити як процес, в якому вона досягає стану з більш низькою ентропією у порівнянні з початковим її значенням.

Фундаментальна теорема про виробництво ентропії у відкритій системі з незалежними від часу граничними умовами була сформульована І. Пригожиним: в лінійній області функціонування система еволюціонує до стаціонарного стану, що характеризується мінімальним виробництвом ентропії, сумісним з накладеними граничними умовами.

Під час еволюції станів ТТС реалізація процесу самоорганізації визначаються критерієм Пригожина-Гленсдорфа [229]:

$$\frac{\partial \sigma_S}{\partial t} \le 0, \tag{1.2}$$

де σ_S – виробництво ентропії, t – тривалість процесу.

Згідно цього критерію в будь-якій нерівноважній ТТС процеси йдуть самочинно так, що швидкість зміни виробництва ентропії, яка обумовлює зміну термодинамічних сил, має тенденцію до зменшення. У разі відкритості ТТС можливе виробництво негентропії за рахунок обміну із зовнішнім середовищем енергією і масою [228]. Отже критерій Пригожина-Гленсдорфа відображає природне прагнення будь-якого кінетичного процесу розвиватися по шляху найменших енергетичних втрат, що і використовується при аналізі еволюції ТТС.

Отже стан будь-якої лінійної ТТС з незалежними від часу граничними умовами завжди змінюється у напрямку зменшення виробництва ентропії $\sigma_s = dS/dt$, поки система не досягатиме стану рівноваги, при якому виробництво ентропії мінімально: $d\sigma_s < 0$ – умова еволюції; $\sigma_s \Rightarrow \min$, $d\sigma_s = 0$ – умова рівноваги. Звідси маємо: $d\sigma_S / dt < 0$.

Кожна ТТС складається із елементів (підсистем), які знаходяться у визначеному порядку і зв’язані між собою. Під структурою системи будемо розуміти організацію елементів та характер зв’язку між ними. В реальних ТТС є просторові і часові структури. Формування структури – це виникнення нових властивостей і відношень в сукупності елементів ТТС. В процесах формування структур важливу роль відіграють наступні поняття і принципи: постійний від’ємний потік ентропії; стан системи віддалений від рівноваги; рівняння, що описують нелінійні процеси; поведінка підсистеми колективна (кооперативна); критерій еволюції Пригожина-Гленсдорфа є універсальним.

Формування структур матеріалів ТЕ при необоротних процесах повинно супроводжуватися якісним стрибком, фазовим переходом (ФП), при досягненні в системі критичних значень параметрів. У ТТС зовнішній внесок в ентропію dS, в принципі можна вибрати довільно, змінюючи відповідним чином параметри системи і властивості зовнішнього середовища. При цьому ентропія може зменшуватися, віддаючи частину її зовнішньому середовищу, тобто коли $dS < 0$. Це може відбуватися, якщо вилучення ентропії системи в одиницю часу перевищує виробництво ентропії всередині системи, тобто $dS, dS_e, dS_i < 0$.

Для опису елементів ТТС, що досягли термодинамічної рівноваги стало необхідним введення поняття ансамблю [228]. Виявилось, що термодинамічні властивості матеріалів ТЕ можна зрозуміти тільки в термінах ансамблів, але не в термінах окремих траєкторій або хвилевих функцій. Ансамблевий підхід застосований до усіх динамічних систем, в тому числі і ТТС, є інтегрованим і неінтегрованим, стійким і нестійким. Основною величиною в ансамблевому підході стає розподіл щільності ймовірності, що не заважає повернутися до граничного випадку [286].

Підхід Гіббса-Ейнштейна до опису хаосу в ТТС – альтернативний, але еквівалентний спосіб представлення законів фізики зводиться до статистичних описів [286]. Статистичні описи, що не зводяться, розвиваються школою І.Пригожина [468, 469]. При цьому класичний дисипативний хаос може бути описаний тільки на основі статистики. Кожному стану системи відповідає точка у фазовому просторі. Але в теорії ансамблів Гіббса система як ціле представлена лише "хмарою" точок в просторі. Вона описується безперервним розподілом щільності ймовірності $\rho(q_1,...,q_s,p_1,...,p_s)$ у фазовому просторі. Кожна точка у фазовому просторі рухається в часі по своїм динамічним траєкторіям, які ніколи не перетинаються. Дві спочатку різні точки назавжди залишаються різними. Ця фундаментальна властивість приводить до теореми Ліувілля: для будь-якої динамічної системи об'єм області, зайнятої представницькими точками у фазовому просторі, зберігається в ході еволюції.

Локалізація системи в малій області фазового простору, досягнута шляхом виміру, дає певну кількість інформації про цю систему. Чим точніше проведений вимір, тим більше дослідник знає про стан системи. І навпаки, чим більше область фазового простору, тим менше упевненості у спостерігача в пізнанні процесів і станів, що відбуваються в ньому. Оскільки в хаотичній системі близько розташовані точки залишаються близькими в процесі її еволюції, то частина інформації, отримана виміром, зберігається в часі. Саме у такому разі ТТС можуть бути передбачуваними: початковий вимір містить інформацію, якою можна скористатися для прогнозу майбутньої поведінки системи. Інакше кажучи, передбачувані динамічні системи не особливо чутливі до помилок виміру.

Розподіл систем на динамічні і статистичні умовний, оскільки у багатьох випадках важко провести межу між динамічним і фізичним хаосом. Основною особливістю динамічного або детермінованого хаосу служить динамічна нестійкість руху. Детермінований – означає опосередкований взаємозв'язком причини і наслідку. Детермінізм і хаос прямо протилежні за своєю суттю. Детермінізм асоціюється з повною передбачуваністю, хаос – з повною непередбачуваністю.

Якщо відсутні причинно-наслідкові зв'язки в тих або інших процесах і станах ТТС, то появу якоїсь події передбачити неможливо, оскільки ця подія містить в собі випадковість. Тому до недавнього часу було мало підстав сумніватися в тому, що в принципі можна досягти точної передбачуваності причинно-наслідкових зв'язків.

Термодинамічний хаос і безлад у фізиці не є синонімами. Прикладом є, комірки Бенара [225], що відносяться до ДС. Їх існування обумовлене наявністю в системі процесів дисипації енергії і виробництва ентропії.

Таким чином, проста і складна, детермінована і хаотична поведінка ТТС співіснують в реальних процесах і можуть бути описані статистичною фізикою.

Зазначимо, що природа може користуватися хаосом і конструктивно через посилення малих флуктуацій відкривати системам доступ до нових станів, структур. Хаос породжує випадкові зміни структури, відкриваючи тим самим можливість поставити мінливість під контроль еволюції [268].

У 1976 р. американський фахівець в галузі математичної і теоретичної фізики Митчел Фейгенбаум зробив відкриття, суть якого полягає в тому, що сценарій переходу до хаосу через нескінченний каскад біфуркацій подвоєння періоду, універсальний для великого класу динамічних систем [244, 266, 293, 393].

У багатьох випадках хаотичний рух (у рідинах турбулентний і ламінарний) дуже важко відрізнити від впорядкованого руху. З цієї причини виникає необхідність у виявленні критеріїв відносної міри впорядкованості або хаотичності різних рухів у відкритих системах. При цьому виявляється дуже важливим вибір керованих параметрів, при зміні яких відбуваються нерівноважні ФП [227, 242]. Вибір керованих параметрів є самостійним завданням.

Щоб почати формування структури, віддача ентропії в ТТС повинна перевищити деяке критичне значення. В сильно нерівноважному стані змінні параметри ТТС задовольняють лінійним рівнянням. При цьому можна виділити два основні класи необоротних процесів:

– зникнення структур поблизу положення рівноваги (універсальна властивість систем при довільних умовах);

– створення структур в умовах віддалених від рівноваги у відкритих системах при особливих критичних зовнішніх умовах і нелінійній внутрішній динаміці (властивість не універсальна).

Просторові, тимчасові або просторово-тимчасові структури матеріалів елементів ТТС, які можуть виникати у віддалених від рівноважних умовах в нелінійній області при критичних значеннях параметрів системи є ДС [300-302].

В ДС взаємопов’язані три їх аспекти (рис. 1.2):

– функція стану ТТС, що описується рівняннями;

– просторово-тимчасова структура, що виникає через нестійкість стану;

– флуктуації, що відповідні за нестійкість стану системи.

Взаємодія між зазначеними аспектами приводить до неочікуваних явищ в ТТС: виникнення порядку через флуктуації, формування високоорганізованої структури із хаосу [311]. Перехід від хаосу до порядку, що відбувається при зміні значень параметрів від критичних до більш критичних, змінює симетрію ТТС. Тому такий перехід аналогічен термодинамічним фазовим переходам (ТФП). Переходи в нерівноважних процесах є кінетичними фазовими

переходами (КФП) [146, 320]. Поблизу нерівноважних ФП не існує несуперечливого макроскопічного опису. Флуктуації при цьому важливі, як і середні значення, оскільки макроскопічні флуктуації можуть привести до нових типів нестійкостей в ТТС.

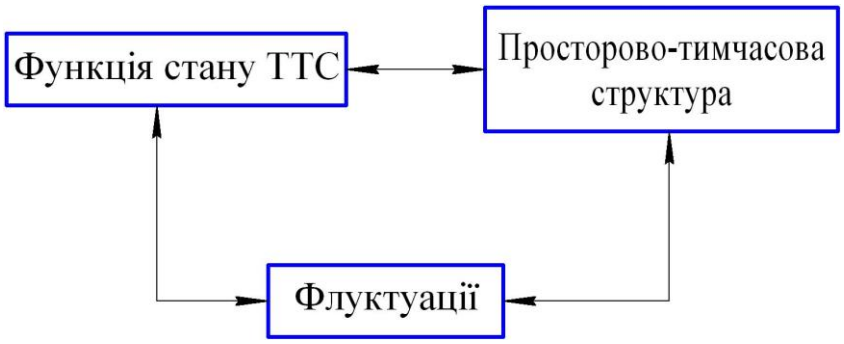

Рисунок 1.2 – Три аспекти дисипативних структур в матеріалах елементів ТТС

Таким чином, в умовах віддалених від рівноваги між хімічною, кінетичною і просторово-тимчасовою структурою ТТС, що реагують, існує зв'язок. Взаємодія ТЕ, що визначає взаємодію констант швидкостей і коефіцієнтів переносу, обумовлена короткодіючими силами (силами валентності, водневими зв'язками і силами Ван-дер-Вальса) [159]. Розв'язки відповідних рівнянь стану ТТС залежать і від глобальних характеристик. Для виникнення ДС звичайно вимагається, щоб розміри системи перевищували деяке критичне значення – складну функцію параметрів, що описують реакційно-дифузійні процеси. Можна твердити, що хімічні нестійкості задають подальший порядок завдяки якому ТТС діє як ціле.

Якщо врахувати дифузію, то математичне формулювання проблем пов'язаних із ДС потребує вивчення диференціальних рівнянь в частинних похідних. Дійсно еволюція концентрації компонент c_i в матеріалах ТЕ з часом визначається рівнянням виду [223]:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \theta(c_1, c_2, ...) + D_i \frac{\partial^2 c_i}{\partial r^2}, \qquad (1.3)$$

де перший член дає внесок хімічних реакцій в зміні концентрації c_i і має простий поліноміальний вигляд, а другий член – означає дифузію вздовж напрямку r. Це рівняння описує багато різноманітних явищ. Основне рішення цього рівняння відповідає термодинамічній гілки, а інші рішення характеризують віддалення системи від стану рівноваги.

Нестійкі стани і процеси в ТТС вивчають методами теорії біфуркацій, тобто виникнення при деякому критичному значенню параметра нового рішення рівняння стану ТТС.

Біфуркаційна діаграма кінетичного рівняння станів і процесів в ТТС:

$$\frac{dX}{dt} = aX - r, \qquad (1.4)$$

відображена на рис. 1.3.

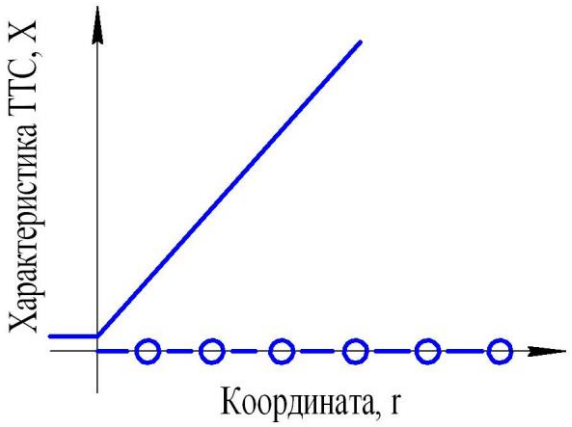

Рисунок 1.3 – Біфуркаційна діаграма кінетичного рівняння (1.4) зміни станів і процесів ТТС

Можна бачити, що при $r < 0$ існує тільки одне рішення, не залежне від часу, але в точці $r = 0$ відбувається біфуркація і з'являється нове рішення.

В загальному випадку при зростанні деякого характеристичного параметру λ відбуваються послідовні біфуркації (рис. 1.4).

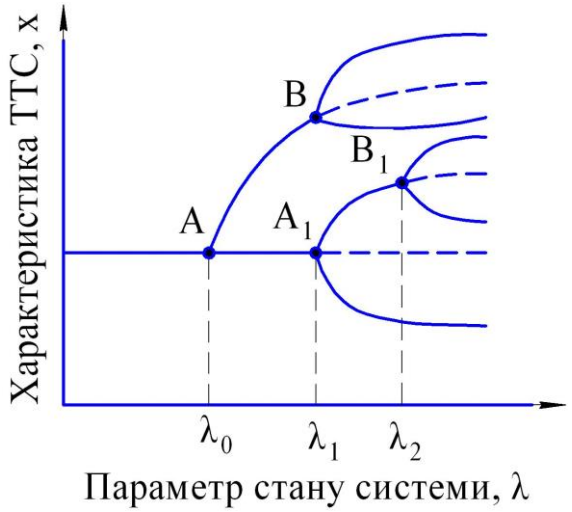

Рисунок 1.4 – Послідовні біфуркації: A, A_1 – точки первинної біфуркації на термодинамічній гілці; B, B_1 – точки вторинної біфуркації; суцільна лінія – стійкі стани; пунктирна – нестійкі

Можна бачити, що при $\lambda = \lambda_1$ фіксується єдине рівняння, але при $\lambda = \lambda_2$ поступається перед множинним рішенням.

При зміні керуючих параметрів в ТТС спостерігаються різноманітні перехідні явища. Деякі загальні риси, характерні для великого числа переходів у фізико-хімічних системах та ТТС, представлено у вигляді біфуркаційної діаграми (рис. 1.5).

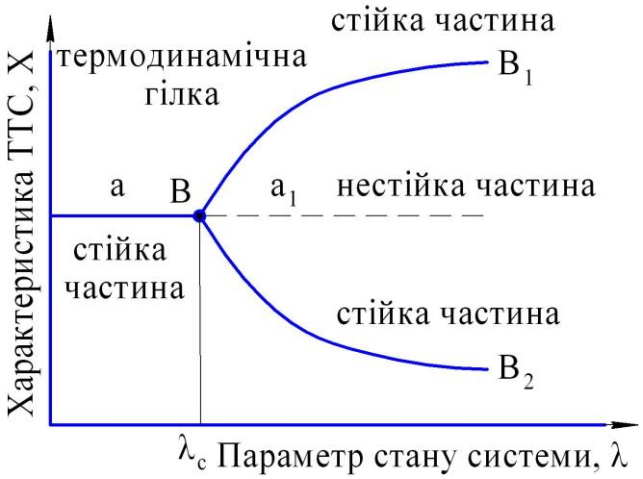

Рисунок 1.5 – Біфуркаційна діаграма: *a* – стійка частина термодинамічної гілки; a_1 – нестійка частина термодинамічної гілки; B_1 і B_2 – відповідні ДС утворені в надкритичній області

З рис. 1.5 випливає, що при малих значеннях параметру стану λ ТТС можливе лише одне рішення, яке являє собою безпосередню екстраполяцію термодинамічної рівноваги і характеризується асимптотичною стійкістю. Ця область системи здатна гасити внутрішні флуктуації або зовнішні збурення [269]. За цих причин така гілка станів є термодинамічною гілкою.

При переході через критичний параметр λ_c стан ТТС стає нестійким оскільки флуктуації є збуреннями, які не гасяться. Подібно підсилювачу система відхиляється від стаціонарного стану і переходить до нового режиму функціонування. В точці $\lambda = \lambda_c$ стійкі і нестійкі режими зливаються і спостерігається явище біфуркації. В цей момент ТТС повинна зробити критичний вибір в околі точки $\lambda = \lambda_c$. Після цього, при $\lambda > \lambda_c$, стани системи розгалужуються на нові стійки стани. Події в критичній області можна подати як такі, що розвиваються за схемою: флуктуація → біфуркація → нерівноважний ФП → народження упорядкованих структур.

Біфуркація в широкому розумінні слова – це набуття динамічною ТТС якісно нових рухів при малих змінах її параметрів. Вибір наступних станів ТТС при біфуркації носить випадковий характер і перехід від одного стійкого до іншого необхідного стійкого станів є випадковим. Разом з тим опис ТТС, що зазнає біфуркації, включає як детерміністський, так і стохастичний (ймовірнісно-статистичний) елементи: від біфуркації до біфуркації поведінка ТТС детермінована, а в околі точок біфуркації – стохастична [300-302].

В процесі розвитку ТТС можуть зустрічатися її стійкі і нестійкі стани. Малі зміни локальних областей елементів ТТС призводять до флуктуацій, які в подальшому процесі гасяться, і система стає стійкою. У деякій точці, що характеризує певний стан, ТТС може втратити стійкість. При цьому траєкторія системи у подальшому розвитку буде нестійкою, а отже можливі різні шляхи еволюції. Причому вони є допустимими (рис. 1.6).

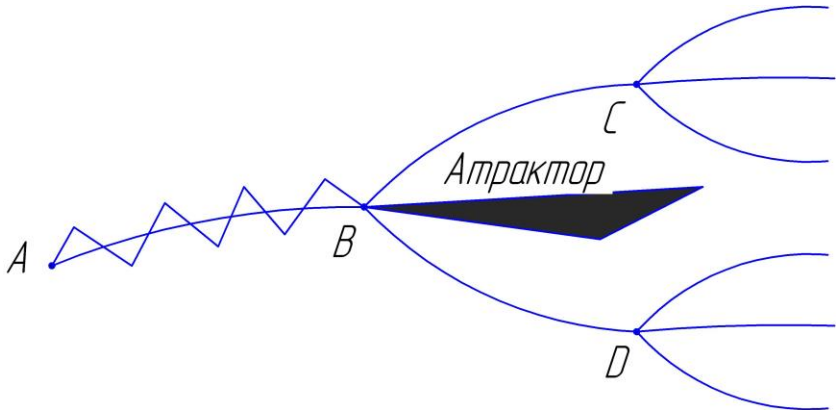

Рисунок 1.6 – Схеми можливих траєкторій еволюції станів ТТС: точки А, В, С, Д – точки біфуркації

Кожен з шляхів теж рано чи пізно може втратити стійкість, і у нього з'явиться своя точка біфуркації. Різноманітні шляхи розвитку зазвичай прагнуть до деякої більш стійкої траєкторії і утворюють вузький коридор порівняно стійких станів (аттрактор) [355]. Аттрактор в свою чергу в процесі еволюції може зазнати біфуркацію і руйнуватися, тим самим породжуючи нові шляхи виходу з критичних станів (з точок біфуркації). Таким чином, деструкція, критичний стан – це не кінець, а початок нового витка еволюції ТТС – до наступного критичного стану. Отже з точки біфуркації можуть виходити декілька можливих варіантів шляхів розвитку системи і усі вони зазнають жорсткої перевірки на міцність експлуатацією ТТС, часом і простором. Ті варіанти шляхів розвитку ТТС, що не витримують, сходять нанівець, поступово стираються з карти пам'яті системи. Залишається один, достатньо стійкий шлях. У зазначеному описі еволюції станів ТТС простежується деяка циклічність, або спіральність поступального розвитку системи: критичний стан → вихід в аттрактор → стійкий стан → збільшення росту ентропії, що закономірно приводить до чергового критичного стану і пошуку шляху виходу з нього, або виникнення на місці старої оновленої системи і так до нескінченності.

Для того, щоб запустився механізм самоорганізації, потрібна наявність ДС, які розсіюють зайву енергію системи, виводячи її на аттрактор [465]. По суті, можна сказати, що ТТС, яка знаходиться в стані, далекому від динамічної рівноваги, починає процес самоорганізації, розсіюючи свою вільну енергію, просуваючись до аттрактора [355]. У цьому процесі система змінює свої властивості, набуваючи нові характеристики й чутливість до своїх власних флуктуацій, тобто до тих випадковостей, які виведуть її з деякого середнього положення, зробивши нестійкою. Продовжуючи процес руху, ТТС також проявляє дисипацію, позбавляється від зайвої енергії і здійснює перегрупування своїх елементів та їх локальних областей. Якщо флуктуації посилюються, то система не підтримує свою попередню організацію, форму і руйнується. У такі критичні моменти відбувається перебудова і характеру руху системи, а її траєкторія розгалужується в певній точці – точці біфуркації. Описані вище процеси, що відбуваються в ТТС, її еволюцію можна уявити як ріст різноманітності або збільшення числа функціональних станів.

В якості прикладу, що показує наявність точок біфуркації в різних природних явищах, може служити природний електричний розряд – блискавка. Блискавка як зигзагоподібний спалах світла, точки вигину якої, є точками біфуркації цієї системи.

Еволюція біфуркації і наступної самоорганізації обумовлена відповідними нерівноважними обмеженнями [203]. При цьому еволюція змінних характеристик ТТС X_i описується системою рівнянь:

$$\frac{\partial X_i}{\partial t} = F_i\left(x_1, x_2, ...r, t\right), \tag{1.5}$$

де F_i – функції, що складним чином залежить від змінних X_i, їх похідних по координаті r і часу t. Крім того, ці функції залежать і від керуючих параметрів λ_i, тобто змінних характеристик, які можуть сильно змінити стан ТТС.

Рішення останнього рівняння, якщо відсутні зовнішні обмеження, повинні відповідати рівновазі при будь-якій функції, оскільки рівноважний стан стаціонарний:

$$f_i\ (\{x_{рівн}\},\lambda_{рівн}) = 0. \tag{1.6}$$

У загальному випадку для більш нерівноважного стану, можна написати умову:

$$f_i\ (\{x\},\lambda) \neq 0, \tag{1.7}$$

яка накладає певні обмеження універсального характеру. При цьому необхідно щоб виконувалась вимога позитивності температури та хімічної концентрації, які отримуються як розв’язки відповідних рівнянь.

Другою універсальною рисою при формуванні самоорганізації структур є нелінійність (рис. 1.7).

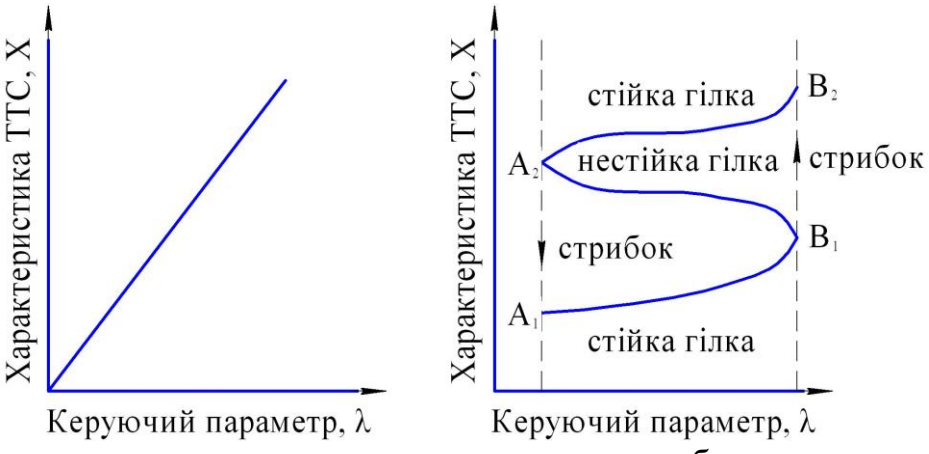

Рисунок 1.7 - Універсальні риси у формуванні самоорганізації структур елементів ТТС: а – лінійний закон; б – нелінійний закон

Зазначимо, якщо система має одну характеристику, що задовольняє рівняння:

$$\frac{\partial X_1}{\partial t} = \xi - k\lambda\,, \tag{1.8}$$

де k – деякий параметр; λ – зовнішнє, керуюче обмеження, то при цьому стаціонарний стан визначається з умови: $\lambda - kX_s = 0$, звідки: $X_s = \lambda/k$. В стаціонарному стані значення характеристики ТТС лінійно змінюється в залежності від керуючого обмеження, і має для кожного λ єдиний стан X_s (рис. 1.7, а).

Керуючий параметр може відповідати ступеню віддаленості ТТС від рівноваги. Поведінка системи у цьому випадку подібна до рівноваги навіть при наявності сильно нерівноважних обмежень [203]. Якщо значення характеристики X нелінійно залежить від керуючого обмеження λ, то наявне декілька різних рішень (рис. 1.7, б). При цьому в нелінійній області невелике збільшення керуючого параметру може привести до неадекватно сильного ефекту: система може здійснити стрибок на стійку гілку свого розвитку. Крім цього можуть відбуватися і оборотні переходи. В самій системі можуть бути збурення, або зовнішні впливи, або внутрішні флуктуації. Таким чином, ТТС, що має множину стаціонарних станів, володіє властивостями внутрішньо збуджуватись і її стани можуть змінюватися стрибками.

Виконання теореми про мінімальність виробництво ентропії гарантує стійкість стаціонарних нерівноважних станів ТТС. В області лінійності необоротних процесів, виробництво ентропії відіграє таку ж роль як термодинамічні потенціали у рівноважній термодинаміці.

Всі види трансформації і руйнування в ТТС можна поділити на дві групи: нормальні теоретично неминучі, але практично допустимі процеси зношування (режим самоорганізації), і неприпустимі явища пошкоджуваності, що виникають при порушенні умов самоорганізації [455]. При цьому сутність самоорганізації елементів ТТС і системи в цілому полягає в енергетичній доцільності перетворення початкової структури в найбільш вигідну, економну і стійку структуру за даних умов навантаження.

Становлення самоорганізації багато в чому визначається характером взаємодії випадкових і необхідних факторів, що визначають комплекс властивостей матеріалів ТЕ, робочих, технологічних та зовнішніх середовищ. У сприяючих умовах функціонування ТТС навіть мала флуктуація може привести до нової структуризації усієї системи, тобто до нового порядку і якості за рахунок кількісних змін, що накопичуються в ній. Поступово ситуація загострюється і між окремими елементами системи розриваються старі зв'язки і виникають нові. Руйнуються старі елементи і створюються нові. Зміни, що відбуваються, в системі, нарешті, досягають нестійкого стану. Виникає біфуркація, що приводить до нового стану системи. Спочатку стан системи може бути і нестійким, але має в перспективі новий вибір подальшого шляху

розвитку. Його визначає співвідношення між двома протилежними тенденціями: з одного боку, ресурсні потоки і випадкові флуктуації сприяють зростання ентропії (невпорядкованість структури), що може привести до наростання хаосу, а отже і до остаточного руйнування системи; з іншого боку – система прагне зберегти стійкість за рахунок перегрупування структури в новий порядок і, таким чином, запобігти зростанню ентропії. Яка з цих тенденцій переважатиме, залежить від багатьох випадковостей різних за природою, але визначається внутрішніми колективними силами або зовнішніми діями на систему [67, 144].

Поблизу точок біфуркації в ТТС спостерігаються значні флуктуації, а роль випадкових чинників значно зростає. У точках біфуркацій перед самоорганізуючими системами відкривається безліч варіантів розвитку, відображеннями яких є дисипативні динамічні мікроструктури, а відображенням майбутніх станів – фракталів. У точці біфуркації відбувається своєрідна конкуренція фракталів, здійснюється їх відбір системою, йде боротьба за виживання ТТС в нових умовах. При цьому флуктуації внутрішніх параметрів, що стосуються певного моменту розвитку системи, виникають хаотично. Кількість таких флуктуацій може бути скільки завгодно, але більшість з них затухає, відсікаючи зайві вихрові потоки і залишаючи тільки ті, які утворюють нові стійкі макроскопічні стани – аттрактори. Якщо нестійка мікроструктура матеріалів ТЕ, робочого та технологічного середовища ТТС потрапляє в конус аттрактора, то вона неминуче еволюціонує до стійкого стану (втягується в стійкий стан) і може знаходитися в ньому до тих пір, поки через які-небудь причини система знову не прийде в нестійкий стан.

В результаті такої конкуренції відбувається самочинний вибір тієї структури, яка найбільш адаптивна до внутрішніх і зовнішніх умов, що склалися на даний момент. Проте передбачити який шлях вибере система неможливо, оскільки тільки випадковість виступає арбітром вибору напряму розвитку системи.

У критичний момент самоорганізації (самоорганізована критичність) [15, 201, 208, 397, 480] принципово невідомо, в якому напрямі піде подальший розвиток: чи стане система розвиватися за сценарієм хаосу або перейде на новий сценарій впорядкованості і організації (ФП і ДС під впливом лазерних пучків, нестійкої плазми, флаттера, хімічних хвиль, структуроутворення в рідинах і т. д). У точці біфуркації система нібито коливається перед вибором того або іншого шляху розвитку, або організації. Невелика випадкова флуктуація може послужити тригером або початком еволюції (організації) системи в деякому напрямі (несподіваному або навіть малоймовірному), відсікаючи можливості розвитку інших.

Фізична природа зазначеного, з точки зору синергетики, дає можливість виявити як побудована ТТС і які процеси відбуваються в ній, але при цьому залишається загадковим явище інерції. Тільки з позиції самоорганізації стає зрозумілою його сутність: у разі прискорення систем їх елементи виводяться із стійких станів і сили стійкості протидіють прискоренням, виступаючи як сили

інерції. При цьому стійкість систем є станом, який досягається в ході прояву процесів самоорганізації і до яких по суті вони прагнуть. Оскільки енергія в стійкому стані не втрачається і стан володіє енергозбережною стійкістю, то інерція виступає своєрідним результатом самоорганізації.

1.2 Форми прояву самоорганізації елементів триботехнічних систем, їх характеристики та параметри

Через різноманітність і багатогранність умов протікання тертя та зношування [68, 69, 83, 222, 312, 318, 320, 321, 493, 517] в ТТС створюються можливості виникнення великого спектру станів і процесів самоорганізації матеріалів її елементів та забезпечення належного рівня їх зносостійкості і надійності ТТС. Процеси при терті виникають і розвиваються в результаті двох основних явищ: активації (збільшення) та пасивації (зменшення) вільної енергії ТТС. Їх можна описати на основі першого і другого початків термодинаміки. Перетворення зовнішньої механічної енергії в енергію внутрішніх процесів визначаються потоками енергії і речовини в ТТС, обумовленими інтенсивністю зовнішніх механічних дій, структурою і властивостями матеріалів ТЕ, фізико-хімічною дії робочого та технологічного середовища, масштабним чинником та ін. [166, 288].

Самоорганізація і утворення ДС при терті можуть здійснюватися шляхом трансформацій в матеріалах ТЕ, робочих та технологічних середовищ різних за природою і агрегатних станів [318, 321], але механізм протікання самоорганізації в різних ТТС може мати істотні загальні особливості.

Взаємодія активуючих потоків енергії і речовини створює можливості виникнення широкого спектру станів самоорганізації – утворення просторових і просторово-тимчасових структур, що визначають зносостійкість; антифрикційність і фрикційність елементів ТТС. Самоорганізація може здійснюватися шляхом трансформації твердих, рідинних і газових агрегатних станів матеріалів елементів ТТС, робочих та технологічних середовищ (рис. 1.8).

Зовнішні механічні дії при терті неминуче приводять до руйнування ДС, матеріалу ТЕ, але ці ж дії і спряжені процеси перенесення речовини з ТЕ, робочого (технологічного) середовища забезпечують їх регенерацію.

У традиційних умовах роботи спряжень тертя в поверхневих шарах матеріалів ТЕ утворюються дисипативні вторинні структури (ВС) механо-хімічної природи, що володіють екстремальними властивостями та екранують основний матеріал від безпосереднього контакту і руйнування.

Трансформація початкової структури матеріалів ТЕ в нову фазу супроводжується максимальним зміцненням, подрібнення зерна появою текстур у напрямі переміщення при терті і насиченням робочої поверхні активними компонентами робочого (технологічного) середовища при модифікуванні речовиною і енергією фізичного поля.

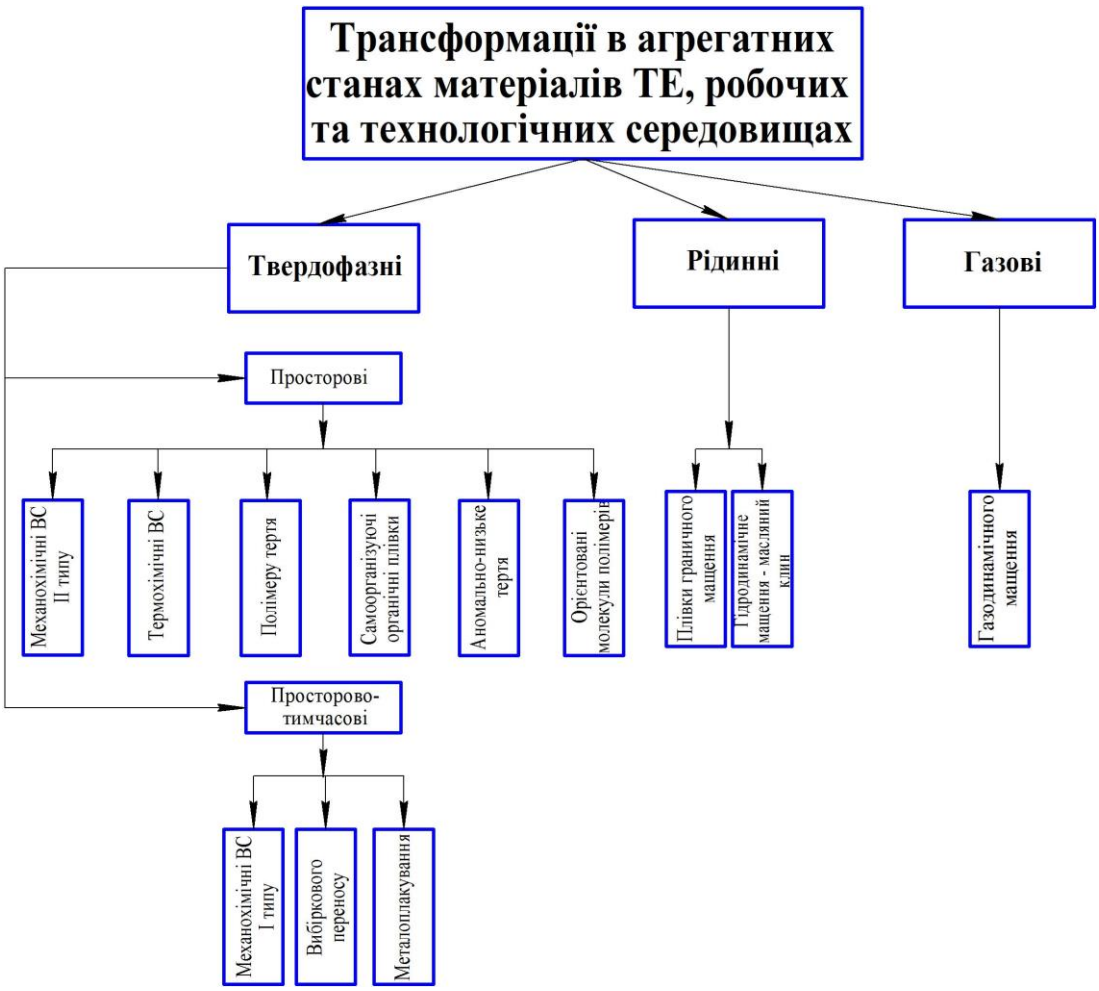

Рисунок 1.8 – Схема форм самоорганізації, отриманих шляхом трансформації агрегатних станів матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ

Технологічна обробка матеріалів ТЕ активування при модифікуванні обумовлює термомеханічні, термохімічні та фізико-хімічні процеси, виникнення ВС термохімічної природи на поверхнях тертя.

Стан самоорганізації реалізується при утворенні аморфних плівок продуктів мащення на поверхнях ТЕ. Виявлені протизносні і протизадирні властивості шару полімерів тертя (ПТ), ефект трибополімерізації [373]. Явище самогенерування з утворенням на поверхні ТЕ органічних плівок виявлене при роботі в середовищі мінеральних олив [193], змінює рівень і характер трибоактивування зон тертя, що обумовлює стан зносостійкості, антифрикційності і противозадирної стійкості матеріалів ТЕ в ТТС.

Наочним прикладом самоорганізації полімерів та мастильних середовищ є формування структур молекул, орієнтованих міцними ланцюгами по напряму руху при терті [57, 323, 373], тобто їх текстурування. Зазначені стани самоорганізації ТТС відносяться до твердофазних просторових структур і реалізується при модифікуванні металів та мастильних середовищ фізичним полем при формуванні аналогічних структур, орієнтованих по напряму руху ТЕ [324, 352]. Плівки, створені на поверхнях тертя у цих умовах різко відрізняються за своєю будовою і властивостями від будови і властивостей

мащення мастильного матеріалу в об'ємі та істотно впливають на стан поверхні ТЕ [55, 133].

Групу твердофазних просторово-тимчасових структур являють ВС механіко-хімічного походження. Це тверді розчини окислювачів в металах, які мають аномальну пластичність і знаходяться в рідиноподібному стані. Плівки структур цього типу не можуть існувати в зоні контакту ізольовано через нерівноважність енергетичного стану.

Переміщення плівок таких структур на поверхнях тертя приводить до їх закріплення на ній та відбувається заліковування дефектів і вигладжування рельєфу. Якщо вони віддаляються від поверхні ТЕ, то відбувається агрегатування поверхневого шару, рушійною силою якого є зниження вільної енергії [315]. У разі припинення руху такої плівки спостерігається її затвердіння [373].

Ефективним процесом самоорганізації є вибіркове перенесення (ВП), яке відбувається самочинно з утворенням в зоні контакту тонкої металевої плівки з низьким опором зсуву, що не окислюється і не піддається наклепу [152, 176, 200]. При цьому продукти зносу переходять з однієї поверхні тертя на іншу і назад. У зоні тертя вони утримуються електромагнітними силами [337, 357]. Реалізація на практиці режиму ВП обмежується необхідністю роботи у відновних середовищах і застосуванням ТЕ спеціальних сплавів.

При використанні змащувальних матеріалів з присадками та добавками металевих порошків (мідь, свинець, індій, олово та ін.) формуються структури металоплакування [41, 351, 448]. На поверхнях тертя при цьому утворюється шар м'якого металу, що екранує основний матеріал ТЕ від руйнування та забезпечує процес регенерації [322].

Нестійкість активованого стану ТЕ полягає в реалізації процесу пасивації, при якому основна частина вільної енергії $G_{A\,заг}$ розсіюється і лише незначна її частина $G_{A\,еф}$ накопичується і витрачається на утворення $ВС$-$G_{ВС}$. Співвідношення між $G_{A\,еф}$ і $G_{A\,заг}$ оцінюється коефіцієнтом енергії, що накопичуються:

$$K_G = \frac{G_{A\,е}}{G_{A\,з\,з}}. \qquad (1.9)$$

Зазначимо, що фундаментальною енергетичною основою самоорганізації матеріалів ТЕ є динамічна рівновага процесів трибоактивації та пасивації:

$$G_{A\,еф} = G_{ВС}. \qquad (1.10)$$

Зовнішній вплив при терті неминуче порушує цю рівновагу і приводять до деструкції (руйнування) нових ВС, але ці ж дії і обмін речовиною і енергією із робочим (технологічним) та зовнішнім середовищами забезпечують їх постійну регенерацію – відновлення [315, 316]. Тому основою кінетичної умови

самоорганізації є узгодженість швидкостей $v_{утв.\text{ВС}}$ утворення та руйнування $v_{руйн.\text{ВС}}$ ВС на поверхнях тертя:

$$v_{утв.\,ВС} \geq v_{руйн.\,ВС}\,. \tag{1.11}$$

При цьому слід врахувати також тривалість циклу утворення, стабілізації і руйнування ВС-$\tau_{ВС}$.

Обмін енергією і речовиною ТТС із зовнішнім середовищем змінює склад і властивості поверхневих шарів матеріалів ТЕ і визначає міцність і екрануючу здатність нових ВС, що самоорганізуються, та їх якість. Характерним є те, що ВС формуються в результаті КФП, основою якого є синергетична взаємодія механічних (деформаційних), теплових, адсорбційних, дифузійних, фізико-хімічних, хімічних, трибологічних та інших процесів.

Механічні процеси обумовлюють впорядкованість структури: подрібнення зерен, анігіляцію дефектів та зміну їх орієнтації. Фізико-хімічні процеси обміну речовиною з середовищем полягають в зміні (модифікуванні) елементного складу ВС, забезпечують зниження сил адгезії на фрикційному контакті. Оптимальні по складу і властивостям ВС формуються в певному інтервалі температур в зоні тертя, а гранично можлива міцність ВС-$\sigma_{ВС}$ досягається за умови максимальної їх енергонасиченості і оптимізації розсіювання енергії в процесі тертя і зношування. Відношення міцності ВС-$\sigma_{ВС}$ до міцності матеріалу ТЕ $\sigma_{ЗМ}$ оцінюється коефіцієнтом експлуатаційного зміцнення:

$$K_{зм} = \frac{\sigma_{ВС}}{\sigma_{ЗМ}}\,. \tag{1.12}$$

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. 1.9).

Згідно робіт Б.І. Костецького [312-313, 315-318], 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. 1.10.

Межі і розміри ДН визначаються показниками енергоємності ТТС. Збільшення енергоємності ТТС (теплової і структурної) та розсіюючою здатністю матеріалів ТЕ розширює ДН. Процес вторинної структуризації і якістю ВС та інтенсивність зношування ТЕ визначається факторами: міцністю, екрануючою здатністю, товщиною $h_{\text{ВС}}$ і коефіцієнтом заповнення площі контакту $k_{\text{ВС}}$.

Інтенсивність зношування як відповідальний показник РН описується залежністю [316]:

$$I_{зн} = \frac{h_{ВС}}{\tau_{ВС}} k_{ВС}\,. \tag{1.13}$$

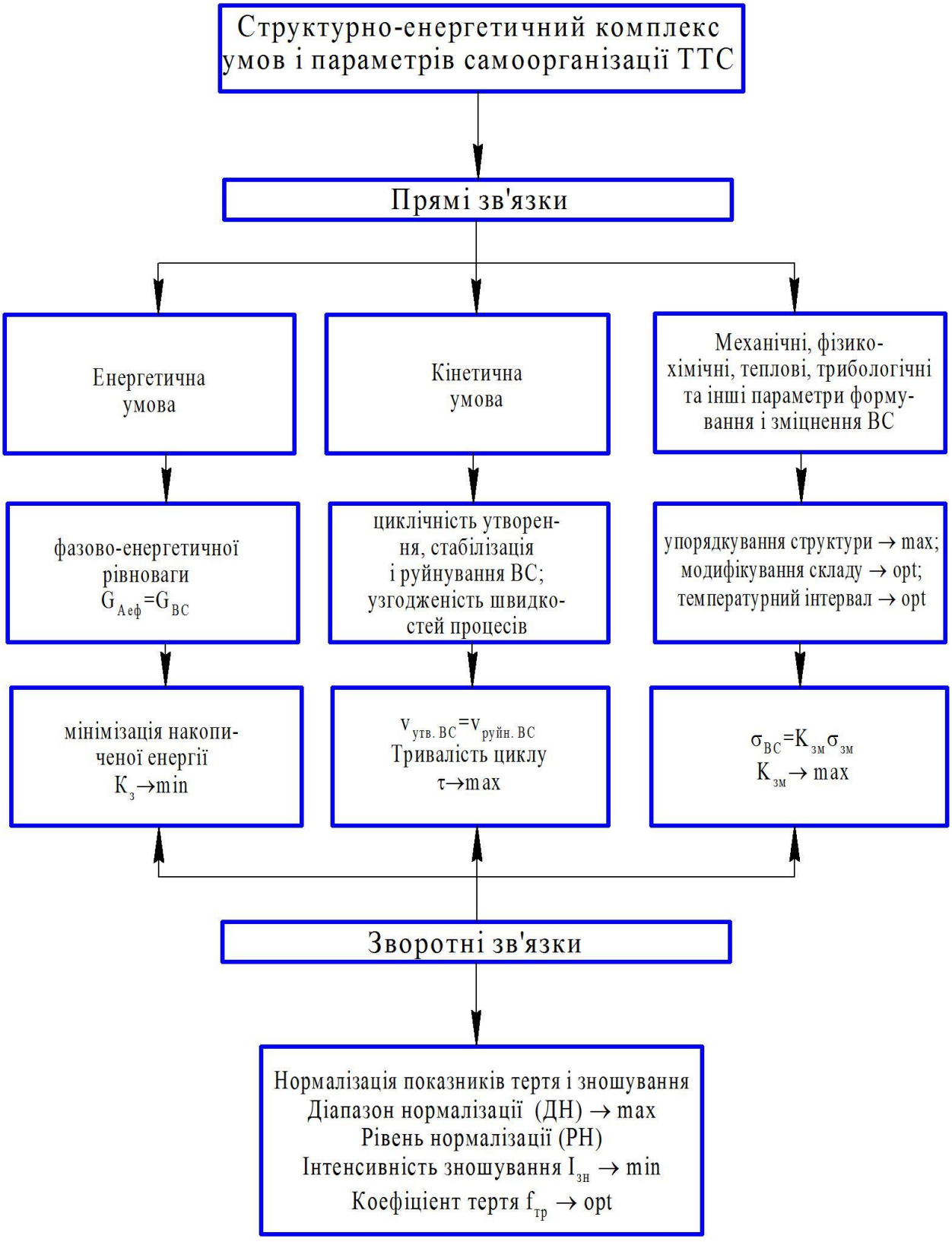

Рисунок 1.9 – Комплекс характеристик і параметрів самоорганізації матеріалів ТЕ

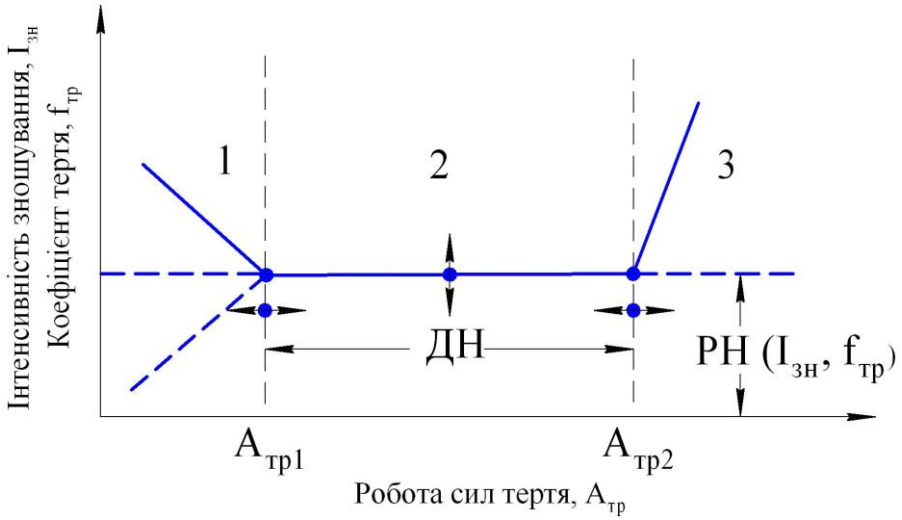

Рисунок 1.10 – Схема нормалізації процесів тертя і зношування в ТТС: 1– область неусталених процесів: $G_{Aеф} < G_{BC}$; 2 – ДН – діапазон нормалізації: $G_{Aеф} = G_{BC}$; 3 – область пошкоджуваності: $G_{Aеф} > G_{BC}$; PH – рівень нормалізації

Керуючи процесами в ТТС, зміцнюючи та модифікуючи ТЕ і робоче середовище, намагаються розширити ДН і підвищити РН, мінімізуючи при цьому інтенсивність зношування ($I_{зн} \to \min$) і оптимізуючи коефіцієнт тертя ($f_{тр} \to \text{opt}$). В таких ситуаціях керування зносостійкостю ТЕ в ТТС передбачає наступні етапи: трибодіагностика; прийняття оптимальних рішень; випробування.

Головним процесом, що визначає енергетику активації, кінетику утворення і руйнування ВС та їх якість, є робота сил тертя $A_{тр}$. Контактна пружно-пластична деформація, як результат роботи сил тертя, є фізичною основою структурно-термічного активування і визначальним фактором пасивації, КФП і утворення ВС.

Виходячи з трибохімії [573], пластична деформація приводить до утворень в зоні тертя реакційно активних ультрадисперсних орієнтованих структур, взаємодії їх з активними елементами середовища при спостереженні адсорбції, дифузії, хімічних реакцій, генеруванню теплоти і формуванню захисних ВС.

Таким чином, ефективним шляхом нормалізації процесів тертя і зношування, розширення ДН і підвищення РН є створення оптимальних умов адаптації ТЕ в ТТС. При цьому коефіцієнти накопиченої енергії K_G і зміцнення $K_{зм}$ ВС є найбільш ефективними і об'єктивними показниками конструкторських, технологічних і експлуатаційних рішень, що стосуються підвищення зносостійкості та надійності ТТС: $K_G \to \min$; $K_{зм} \to \max$; $I_{зн} \to \min$; $f_{тр} \to \text{opt}$.

Наявність спектру самоорганізуючих ТТС підтверджується в процесі експлуатації при реалізації різних форм станів самоорганізації [73, 75, 76, 116, 155].

Процеси самоорганізації в ТТС характеризуються мінімальними енергетичними втратами і різким (на порядки) підвищенням зносостійкості їх ТЕ. При деяких формах самоорганізації при терті в трибоспряженнях деталей машин практично реалізується їх беззносність.

Важливе значення мають процеси самоорганізації ТТС при технологічній обробці матеріалів ТЕ, особливо при зміцнюванні, відновленні і модифікуванні [35, 38, 39, 85-87, 447]. Режими самоорганізації в технологічних ТТС характеризуються мінімальним тертям, якістю оброблюваних поверхонь.

Систематизація, аналіз і опис загальних механізмів і умов самоорганізації матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ є основою для побудови трибологічної теорії еволюційного розвитку ТТС та розробки наукових методів підвищення їх зносостійкості, а отже і надійності.

1.3. Принципи синергетичної концепції виявлення природи самоорганізації процесів і станів в триботехнічних системах

1.3.1 Узагальнені принципи синергетики

Основу синергетичної концепції досліджень умов та механізмів реалізації процесів і станів самоорганізації ТЕ, робочого та технологічного середовища в ТТС складають синергетичні принципи (рис. 1.11), які полягають в тому, що зміни структури і поведінки елементів у відкритих системах відбуваються завдяки колективній взаємодії в них частинок та фізичних полів [471].

Синергетичні принципи – це методологічні принципи, до яких ставляться такі вимоги: можуть знаходитися у відношенні кільцевої причинності; їх повинно бути небагато; використовують відображення простору станів та теорії динамічних систем А. Пуанкаре, які виникли раніше системного підходу Л. фон Берталанфі, вважаючи його частковим випадком.

При цьому доцільно розглянути розгорнутість блоку принципів в математичному, логічному та філософському аспектах запропоновану В.Г. Будановим, В.І. Аршиновим та В.Е. Войцеховичем у 1995 році [194]. Будь-який еволюційний процес можна уявити у вигляді зміни якостей – умовних станів порядку і хаосу в системі, які з’єднані фазами переходу до хаосу і виходу із хаосу.

У найпростішому варіанті можна задіяти 7 основних принципів синергетики: два принципи буття (гомеостатичність та структурна ієрархічність) і п’ять принципів становлення (нелінійність; нестійкість; незамкненість; динамічна ієрархічність; спостережуваність).

Гомеостатичність – це підтвердження програми функціонування системи в деяких межах, які дозволяють їй прямувати до своєї мети. Основним змістом структурної ієрархії є природа складових вищих рівнів по відношенню до нижчих. Те, що для нижчого рівня є структура-порядок, для вищого – структурним елементом хаосу [510].

Нелінійність є порушенням принципу суперпозиції в деяких явищах і в результаті сума впливів на систему не дорівнює сумі результатів цих впливів.

Рисунок 1.11 – Схема сукупності принципів, що використовуються в синергетичної концепції дослідження умов та механізму реалізації процесів і станів самоорганізації в ТТС

Незамкненість (відкритість) свідчить про те, що стан, траєкторія або програма системи нестійкі, якщо будь-які малі відхилення від них з часом збільшуються. Якщо це вірно лише для деяких типів відхилень, то маємо справу з частковою нестійкістю та неможливістю знехтувати взаємодією системи зі своїм зовнішнім середовищем. При цьому значимість точок біфуркації полягає в тому, що тільки в них можна несиловим, інформаційним способом, тобто скільки завгодно слабкими діями, повпливати на вибір поведінки і розвиток системи [5].

Динамічна ієрархічність (емерджентність) – це узагальнення принципу підпорядкування на процеси становлення – наявність параметрів порядку, коли приходиться розглядати взаємодію більш ніж двох рівнів, і сам процес становлення є процесом зникнення, а потім появи одного з них в процесі взаємодії мінімум трьох ієрархічних рівнів системи. При цьому, на відмінну від фази буття, змінні параметру порядка, навпаки, є найбільш швидкими, нестійкими змінними серед конкуруючих макрофлуктацій.

В синергетиці креативну тріаду складають процеси самоорганізації, поява параметрів порядку і структур з хаосу мікрорівня. В точці біфуркації макрорівень зникає і виникає прямий контакт мікро- і мегарівнів, які народжують макрорівень з іншими якостями. Точки біфуркації – це мить на макро- і мегарівні, є протяжною в часі областю деструкції на мікрорівнях. При цьому має місце рівність: керуючі надповільні параметри верхнього мегарівня + короткоживучі змінні найнижчого мікрорівня = параметри порядку, структуроутворюючі довгоживучі колективні змінні макрорівня [263].

В синергетиці включаються принципи доповнюваності і відповідності, кільцевої комунікативності і відносності до засобів спостереження. Принцип спостережуваності підкреслює обмеженість і відносність наших уявлень про досліджувану систему в кінцевому експерименті та означає відносність інтерпретацій до масштабу спостережень і початкового та очікуваного результатів. В синергетиці цей принцип робить систему відкритою до наповнення методологічними і системними інтерпретаціями.

Таким чином, те що було хаосом з позиції макрорівня, перетворюється в структуру при переході до масштабів мікрорівня, тобто самі поняття порядку і хаосу, буття і становлення відносні до масштабу обсягу спостережень. З іншої сторони, слід зауважити, що проблема інтерпретації подібна проблемі ідентифікації і характерним є те, що колективні взаємодії не змінюють повної енергії системи, але здійснюють перерозподіл її між елементами. При цьому враховуються принципи розумного керування і гармонії світу, глобального еволюціонізму і "Бритви Оккама".

1.3.2 Зміст та характеристика принципу розумного керування

Принцип розумного керування, сформульований китайським філософом Лао-Цзи (579-499 до н.е.), полягає в тому, що слабке перемагає сильне, м'яке перемагає тверде, тихе перемагає гнучке [471]. Діяти синергетично означає діяти діалектично. Синергетичні уявлення про механізми розвитку і

самоорганізації складних систем можуть збагатити саму філософську діалектику. При цьому конструктивна роль хаосу в процесах самоорганізації [393, 466, 468] проявляється в наступному:

– хаос потрібний для виходу системи на один з аттракторів, на одну з можливих структур;

– хаос лежить в основі механізму об'єднання простих структур в складні, механізму узгодження темпів їх еволюції;

– хаос може виступати як механізм перемикання, зміни різних режимів розвитку системи, переходів від однієї відносно стійкої структури до іншої.

При цьому доцільно зазначити, що поняття нестабільності (нестійкості) в синергетиці звільняється від негативного відтінку, оскільки вони можуть виступати умовою стабільного і динамічного розвитку. Тільки системи, далекі від рівноваги, в станах нестійкості здатні розвиватися і спонтанно організовувати себе. Стійкість і рівноважність – це, так би мовити, безвихідь еволюції. Нестійкість означає розвиток, який відбувається через біфуркації, через випадковість.

І живим і неживим системам властиві деякі універсальні закони ритму, періодичної зміни різних режимів самоорганізації, циклічної зміни станів: підйом - спад - стагнація - підйом і т.д. Тільки наслідуючи їх системи можуть підтримувати свою цілісність і динамічно розвиватися.

Теорія еволюції і самоорганізації вчить нас мистецтву м'якого керування, за допомогою "розумних" і належних дій. Слабкі впливи, але такі, що є резонансними, надзвичайно ефективні. Вони повинні відповідати внутрішнім тенденціям розвитку складної системи. Правильні резонансні дії можуть вивільнити потужні внутрішні сили.

Мистецтво м'якого керування полягає в способах самоврядування і самоконтролю. Головною проблемою є те як керувати, не керуючи, але як малою резонансною дією підштовхнути систему на один із власних і сприятливих шляхів розвитку, забезпечуючи самокеруючий і самопідтримуючий розвиток.

Дії над системою не приведуть до успіху, якщо вони не погоджені з її внутрішніми тенденціями розвитку. Існують деякі еволюційні правила заборони, які накладаються на певні типи дій. Конструктивним виходом при цьому є спроби змінити власні, внутрішні властивості складних систем, що можуть привести до трансформації спектрів структур-аттракторів еволюції, тобто наборів можливих шляхів розвитку.

Виявляється, що керуюча дія має бути передусім не енергетично, а топологічно правильно організованою. При цьому важливою топологічною конфігурацією є симетрична архітектура дій, а не їх інтенсивність. З цієї точки зору резонансний вплив – це просторово розподілений вплив, це реакція зовнішнього середовища в належних областях системи і в певний момент часу. Синергетична концепція дає можливість виявити як можна багаторазово скоротити час та необхідні зусилля і генерувати бажане, не менш важливе,

наприклад, структури матеріалів ТЕ, робочого та технологічного середовища, що реалізовуються в складній системі, за допомогою резонансного впливу.

Сама еволюція носить суперечливий характер, який складається як з впорядкованих, так і з неврегульованих процесів усередині системи. Можна вважати, що хід еволюції систем підпорядкований закону гармонії [153], зміст якого відображає поняття "золотого перерізу" [507], яке уперше введене К. Птолемеєм (87-165 р.р. н.е.), а подальший розвиток йому надав Леонардо да Вінчі. При цьому вважається, що будь-яке явище, що еволюціонує, організовує і відбирає свої елементи не "наосліп", а згідно з принципом гармонії і підпорядковано пропорції:

$$x/(1-x) = 1/x, \qquad (1.14)$$

де x – це велика частина, (1 - x) – це менша частина, а 1 – ціле.

Згідно з цією пропорцією, ділення безперервної величини на дві частини здійснюється в такому співвідношенні, при якому велика частина так відноситься до меншої, як ціла величина до більшої частини. Результат обчислення пропорції, здійснений по вимірах різних гармонійних у своїй будові явищ, дає величину ≈ 1,618. Як показують численні дослідження [507], ідея "золотого перерізу", що характеризує гармонію в розвитку систем, охоплює усі рівні організації живої і неживої матерії.

1.3.3 Зміст та характеристика принципу універсального еволюціонізму

В самому змісті принципу універсального еволюціонізму закладено ідею спонтанного розвитку неживої і живої природи. В середині XIX століття австрійським фізиком Л. Больцманом і англійським дослідником природи Ч. Дарвіном були сформульовані дві різні теорії еволюції. Перша – теорія Л. Больцмана, стверджувала, що в процесі еволюції світу відбувається зростання ентропії і фіналом буде загальний хаос. Друга – теорія Ч. Дарвіна, виходила з того, що еволюція відбувається по формулі: мінливість → відбір → спадковість. Це так звана тріада Ч. Дарвіна або теорія природного відбору.

Л. Больцман, обґрунтовуючи процес еволюції, на основі фізичних уявлень запропонував три вимоги, дотримуючи які можна найадекватніше описати еволюцію спостережуваних систем:

– закони, що виявляються дослідниками, повинні визначати необоротність явищ, яка полягає в порушенні симетрії між станами систем;

– необхідність введення фізичного поняття "подія", яке описується теорією ймовірностей;

– деякі події повинні мати здатність змінювати хід еволюції, тобто нестабільна еволюція характеризується механізмами реалізації деяких подій, початковим моментом нового розвитку, нового глобального взаємообумовленого порядку.

Російський академік В.І. Вернадський сформулював свою версію проблеми еволюції, запропонувавши принцип універсального еволюціонізму [206], який отримав розвиток у кінці XX століття в синергетиці. Під терміном "універсальний еволюціонізм", розуміють загальні твердження, що не суперечать досвіду, і які частково спираються на основний закон еволюції живої природи, відкритий Ч. Дарвіном.

Сформульовану Ч. Дарвіном тріаду для живої природи російський академік М.М. Моісеєв поширює в синергетиці на усю Природу, що дало уявлення про синергетику як науку про універсальний еволюціонізм [382, 383].

Подальший розвиток ідей академіків В. І. Вернадського і М.М. Моісеєва становить сформульовані академіком П.К. Анохіним вісім емпіричних узагальнень [16]:

1. Всесвіт є єдиною системою, що самоорганізується, з єдиними, для усіх поверхів її ієрархії, законами еволюції.

2. На усіх поверхах ієрархії Всесвіту є випадкові чинники, що протікають в умовах невизначеності і призводять до зміни окремих елементів системи.

3. З усіх можливих віртуальних станів залишаються допустимі, згідно принципу відбору.

4. У Всесвіті панує спадковість, яка має місце на усіх поверхах його ієрархії.

5. Принцип відбору допускає біфуркації і появу аттрактора, тобто різноманіття віртуальних шляхів еволюції після точки біфуркації веде до морфогенезу та необоротної еволюції.

6. Еволюція Природи наслідує гармонійний принцип, при якому співвідношення детерміністських і індетерміністських явищ підкоряються принципам "золотого перерізу", тобто приблизно 2/3 явищ детерміністського і 1/3 індетерміністського характеру (точніше це пов'язано з числами Фібоначчі 0,618 і 0,372.).

7. Взаємодія елементів системи може переходити у взаємосприяння, спрямоване на отримання корисного для системи результату.

8. Існує зв'язок з тонким світом, виступаючим в ролі інформаційного поля, або колективної свідомості суспільства.

При описі масштабів змін на основі узагальнень 1 і 2 передбачено використання термінів "мікроеволюція" і "макроеволюція". Мікроеволюція – це еволюція у межах існуючих ознак, їх тільки кількісних змін. Макроеволюція – це виникнення нових, до певного моменту, не існуючих процесів, структур, якісних змін матеріалу. Поняття мікро- і макроеволюція між собою розрізняються не кількісно, а якісно.

Згідно узагальнень 3-5, якщо закони зміни в системі допускають декілька рівноімовірних станів, то реалізується той, якому відповідає мінімум ентропії. Інші особливості еволюції систем, пов'язані з появою їх нової структури. Цьому передує зростання флуктуацій до макрорівня, процеси експорту ентропії в зовнішнє середовище і перехід в системах від старих структур до нових.

Зазначене можна висловити короткою формулою: онтогенез веде до морфогенезу, а потім до ноогенезу.

Згідно узагальнення 6, життя, досвід показують, що разом із взаємодією елементів в системі виникають процеси кооперації (колективні дії, когерентність). У відповідності до цього доцільним є визначення "системи", дане російським академіком П. К. Анохіним: "система - це такий комплекс вибірково залучених елементів, у яких взаємодія приймає характер взаємосприяння компонентів на отримання корисного результату" [16].

Узагальнення 7 дуже важливе, як принцип еволюції, оскільки між елементами системи разом із взаємодією проголошується їх взаємосприяння, тобто тенденцію еволюції до об'єднання (кооперації). При кооперації, згідно узагальнення 8 в системі може виникнути критичне число елементів, при якому створюється єдине інформаційне поле [287].

Зазначимо, що теорія універсального еволюціонізму не суперечить приведеним вище двом великим теоріям еволюції Л. Больцмана і Ч. Дарвіна, вона тільки їх застосування.

Важливу роль в концепції універсального еволюціонізму відіграє ідея відбору: нове виникає як результат відбору найбільш ефективних формоутворень, неефективні ж інновації відбраковуються процесом розвитку; якісно новий рівень організації матерії остаточно самоствердується тоді, коли він виявляється здатним ввібрати в себе попередній досвід розвитку матерії. У цій концепції підкреслюється найважливіша закономірність систем: спрямованість їх розвитку на підвищення структурної організації, тобто, самоорганізації, саморозвитку.

Насьогодні, поряд з концепцією універсального еволюціонізму існує ідея глобального еволюціонізму – це не лише констатуюче положення, але і регулятивний принцип. З одного боку, він дає уявлення про світ як про цілісність, дозволяє осмислити загальні закони буття в їх єдності, а з іншої – орієнтує сучасне природознавство на виявлення конкретних закономірностей глобальної еволюції матерії на усіх її структурних рівнях, на усіх етапах її самоорганізації, в тому числі і в ТТС.

1.3.4 Зміст та характеристика принципу "Бритва Оккама"

Принцип "Бритва Оккама" стверджує, що не слід множити сутності без необхідності. "Бритва Оккама" – це методологічний принцип, який сформулював англійський філософ-номіналіст Уильям Оккама (1285-1349 рр.). Він є базисом методологічного редукціонізму і принципом ощадливості або законом економії [471].

Принцип "Бритва Оккама" можна розуміти наступним чином: якщо якесь явище може бути пояснене двома способами, наприклад, першим – через залучення сутностей (термінів, чинників, перетворень і т.п.) A, B і C, а другим – через A, B, C і D, і при цьому обидва способи дають однаковий результат, за інших рівних умов, слід вважати вірним перше пояснення, тобто сутність D –

зайва, і її залучення надмірне. Іноді його формулюють так: те, що можна пояснити за допомогою меншого, не слід виражати за допомогою більшого.

У сучасній науці під принципом "Бритва Оккама", зазвичай, розуміють більш загальний принцип, що стверджує: якщо існує декілька логічно несуперечливих визначень або пояснень якого-небудь явища, то слід вважати вірним найпростіше з них; не потрібно вводити нові закони, щоб пояснити якесь нове явище, якщо це явище можна пояснити старими законами. Принцип може слугувати знаряддям критичної думки.

Переформульований на мові теорії інформації [254, 287], принцип "Бритва Оккама" свідчить, що найточнішим повідомленням є повідомлення мінімальної довжини. У цьому сенсі А. Ейнштейн так сформулював принцип "Бритва Окками": усе слід спрощувати до тих пір, поки це можливо, але не більше того.

1.3.5 Зміст та характеристика принципу самоорганізації

Основний синергетичний принцип за сутністю зв'язаний з такою сукупністю принципів як самоорганізації, відбору, підпорядкування, відповідності Н. Бора, Козьми Пруткова. Центральне місце в ній відводиться принципу самоорганізації, сутність якого полягає в тому, що внутрішня активність матерії супротивна розупорядковуючій стихії ентропії, і за певних умов вона приводить до саморуху.

У 60-70-і роки двадцятого століття формуються основні уявлення про принципи і механізми самоорганізації [471]. Найбільшу роль зіграли в цьому роботи І.Пригожина (Брюссельська школа) [466-470] і Г. Хакена (школа Штутгарту) [541-543]. По суті, вони досліджували явища самоорганізації з двох точок зору. І.Пригожин і його школа – з боку дисипації, або розсіяння енергії, і виникнення порядку з хаосу, або безладу [466]. Тому цей підхід часто характеризують як концепцію дисипативних структур. Г. Хакен став досліджувати ДС з боку взаємодії елементів, які приводять до кооперативної, або колективної, їх поведінки. Процес такої кооперативної взаємодії і теорію, яка їх вивчає, він назвав синергетикою.

Експериментальною основою для аналізу і побудови перших моделей самоорганізуючих систем послужили досліди А.Бенара [225]. Г. Хакен вивчав самоорганізацію в лазерах, а Пригожин із співробітниками – побудував модель брюсселятора, що відображає самоорганізуючі хімічні реакції, які уперше здійснили вчені Б.П. Бєлоусов і А.М.Жаботинський із співробітниками.

Синергетика має безліч точок зіткнення з діалектикою. По-перше, парадигма самоорганізації є природничо-науковою основою філософської категорії розвитку і на сучасному рівні наукового пізнання на конкретному матеріалі показує, що умовою розвитку системи є її самоорганізація, яка приводить до виникнення якісно нових структур. По-друге, самоорганізація у відкритих системах підтверджує принцип саморуху і внутрішньої активності матерії, властивий усім її формам. По-третє, синергетика конкретизує і доповнює основні закони діалектики. По-четверте, синергетика розкриває і

уточнює такі філософські категорії як взаємозв’язок частин і цілого, випадкового і необхідного, порядку і безладу, перехід від стійкості до нестійкості.

Виходячи з цього можна виділити наступні методологічні і евристичні принципи, що характеризують самоорганізацію систем будь-якої природи, в тому числі і ТТС:

– процеси, що відбуваються в системі, мають бути необоротними, а отже, час в них повинен мати строго певний напрям від минулого до сьогодення, а від нього до майбутнього;

– система має бути відкритою і знаходитися далеко від стану термодинамічної рівноваги;

– ентропія, що виробляється усередині відкритих систем, не накопичується в них, а виводиться назовні і замість неї із зовнішнього середовища йде потік негативної ентропії (негентропії), тобто відкриті системи "живуть" за рахунок запозичення негентропії або порядку із зовнішнього середовища;

– в нерівноважних системах флуктуації, тобто випадкові відхилення системи, не гасяться системою, а навпаки, накопичуються і підсилюються, тобто підкоряються принципу додатного зворотного зв'язку (ДЗЗ);

– процес самоорганізації починається на мікрорівні, коли відбувається процес посилення флуктуацій під дією зовнішнього впливу, який залишається непомітним на макрорівні, поки зміни не досягнуть деякої критичної точки (стану), після чого спонтанно виникає новий порядок;

– в результаті посилення флуктуацій система стає усе більш нестійкою, що зрештою приводить до руйнування колишнього порядку та структури в ній і виникнення якісно нової структури та нового порядку, які дисипують енергію в зовнішнє середовище, а тому є дисипативною;

– виникнення нового порядку відбувається спонтанно, у момент крайньої нестійкості, коли під впливом зовнішніх чинників (факторів) елементи системи набувають спільного когерентного руху;

– розвиток систем є нелінійним процесом, тому для його вивчення використовується математичний апарат диференціальних рівнянь;

– випадковість чинить істотний вплив на вибір подальшого шляху розвитку системи;

– будь-який якісний перехід і виникнення нового порядку пов'язаний з точкою біфуркації (вибору шляху розвитку), що унеможливлює точного передбачення майбутнього;

– адекватний опис розвитку припускає врахування передісторії системи, абстрагуватися від якої можна тільки в простих випадках.

Таким чином, було встановлено, що процеси самоорганізації відбуваються в силу внутрішньо притаманним матеріальним системам причин, в основі яких лежать дві взаємовиключні тенденції: встановлення певного порядку, в результаті якого виникає самоорганізація і, як наслідок, утворюється нова структура; в ході подальшого розвитку колишній порядок руйнується, а

старі взаємозв'язки між елементами системи піддаються змінам, і на його місце приходить новий спонтанний порядок і виникає нова ДС.

1.3.6 Системно-спрямований підхід до вивчення процесів і станів в системах та принцип симетрії

Дослідження синергетики показали, що протиставлення цілого і частин значною мірою позбавлене сенсу, оскільки виникнення впорядкованого колективного руху в системі, що самоорганізується, свідчить про те, що тут ціле відображає властивості частин, а частини у свою чергу відображають особливості цілого. Така взаємодія частин у межах цілого носить глибоко діалектичний характер і не означає зведення цілого до частин. Ідея взаємодії елементів, частин і підсистем є початковим пунктом концепції самоорганізації, вона вивчалася і раніше в тектології А.А. Богданова [481], а також у межах системного підходу [464, 476, 571].

Поняття системи, яке розглядає усі явища і предмети як взаємозв'язані та взаємодіючі один з одним в цілісності, є конкретизацією і уточненням універсального принципу діалектики про загальний взаємозв'язок і обумовленості явищ. При цьому головною відмінною рисою будь-якої системи є взаємодія її елементів, в результаті якої виникають нові емерджментні властивості, відсутні у її частинах і елементах. З такої точки зору, не лише взаємозв'язану сукупність об'єктів, але і будь-який предмет, що складається з взаємодіючих частин можна розглядати як систему. Тому процес розвитку в природі пов'язаний з розвитком систем та повинний розглядатися з системної точки зору. Тільки при системному-спрямованому підході можна зрозуміти характер тих необоротних змін, які відбуваються в процесі розвитку систем, в тому числі ТТС [170].

Принцип симетрії – це методологічний принцип, у відповідності з яким визначені властивості і взаємозв’язки елементів системи, формулюються як закони у складі наукових теорій, а варіанти відносно деяких перетворень, складають групу симетрії. В цьому сенсі принцип симетрії можна розуміти як деяке узагальнення принципів відносності та інваріантності [197, 240, 252].

В межах спеціальної теорії відносності [240] релятивістська симетрія полягає в тому, що закони зміни стану систем інваріантні в будь яких інерціальних координатних системах ($\vec{\upsilon} = const$). При цьому швидкість світла в них стала і незалежна від руху джерела.

В межах загальної теорії відносності в групу симетрії включені усі закони, що визначають властивості простору-часу, використовуючи тільки динамічні змінні [529]. При цьому принцип симетрії можна звести до наступних положень:

– повний опис зберігається при всіх перетвореннях в будь-яких еквівалентних системах координат;

– всі рухи, можливі в одній системі, інваріанті в усіх еквівалентних системах;

– рівняння руху інваріантні в усіх еквівалентних системах (формулювання Хаага Вігнера).

Принцип симетрії сприяє виявленню структури фізичних теорій і взаємозв’язку фігуруючих в ній законів [529]. Це дозволяє встановити систематичні відношення між теоріями. Конкретні види симетрії можуть розрізнятися за ступенем узагальненості і стійкості. До числа найбільш узагальнених і стабільних відносяться релятивіська симетрія та симетрія, пов’язана із законами збереження. Однак будь – які симетрії є емпіричними узагальненнями. В цьому сенсі принципово можливе виявлення факторів порушення симетрії або відкриття нових, раніше не фіксованих типів симетрії [197].

Принцип симетрії зіграв значну роль у формуванні "Ерлангенської програми" Ф. Клейна як узагальнений метод визначення структури і способу побудови широкого класу геометрій (1873р.). В фізиці теоретико-інваріантні ідеї і принцип симетрії набули особливу значимість із розвитком релятивістської механіки і наступної "геометризації" фізики. В зв’язку з цим видалися плідними типології [587] і класифікації типів симетрії, різних модифікацій і обмежень "ерлагенського" підходу. В методологічному аспекті принцип симетрії може вказати джерела і способи можливих рішень проблемних ситуацій в науці, які пов’язані з виявленням невідомих раніше симетрій або порушень встановлених симетрій [197, 252, 539].

Згідно синергетичної концепції взаємодія системи і середовища приводить до нерівноважності системи та посилення флуктуацій, і виступає як вирішальний чинник для виникнення когерентної, погодженої поведінки елементів, підсистем і частин системи, внаслідок чого виникає нова структура. У цьому сенсі синергетика розвиває і доповнює багато положень системно-спрямованого підходу.

1.3.7 Синергетика і концепція розвитку систем

Реальні процеси розвитку завжди пов'язані з переходом від простого до складного, старого до нового, стійкого до нестійкого. Діалектичний взаємозв'язок простого і складного проявляється в тому, що структура системи змінюється в процесі розвитку. Отже, система повинна розглядатися з динамічної, а не статичної точки зору. Іншими словами, процес розвитку систем завжди пов'язаний з виникненням складності. Перехід від старого до нового, з точки зору синергетики, пов'язаний з необоротним характером процесів і природно призводить до поняття спрямованості часу. Діалектичний взаємозв'язок нестійкості до стійкості проявляється в тому, що стабільність, яка встановлюється, і рівновага представляють необхідну умову для існування і функціонування цілком певної конкретної системи. Проте перехід до нового стану системи і її розвиток в цілому неможливі без усунення попередньої рівноваги, стійкості і однорідності. Оскільки новий порядок і динамічна структура виникають завдяки посиленню флуктуацій, остільки останні залежать від міри нерівноважності системи, а зрештою від того, наскільки вона

здатна обмінюватися такими субстанціями з навколишнім середовищем як речовиною, енергією та інформацією [489].

Якщо говорити про взаємозв'язок випадкового і необхідного, порядку і безладу, то дослідження синергетики показали, що випадкові явища і процеси взаємодіють один з одним, внаслідок чого виникає необхідність, яка в науці виступає у формі стохастичних або ймовірносно-статистичних законів. Отже, відношення між випадковим і необхідним в процесі самоорганізації не зводиться до констатації їх взаємозв'язку, а виступає як результат взаємодії самих випадковостей. Порядок і безлад також знаходяться в діалектичному взаємозв'язку, оскільки порядок виникає з безладу, причому безлад останнім часом розглядають як дуже складну і заплутану форму порядку.

В зв'язку з цим доречним є принцип Козьми Пруткова, який свідчить, що від малих причин бувають вельми важливі наслідки [471].

Більш детальне тлумачення самої концепції розвитку [234], ґрунтується на наступних висновках синергетики:

– сутність розвитку різних форм матеріальних систем розкриває самоорганізація процесів і станів;

– будь-який процес розвитку може здійснюватися лише у відкритих системах, що взаємодіють з навколишнім середовищем;

– існування самоорганізації у відкритих системах підтверджує принцип саморуху і внутрішньої активності матерії, застосований до усіх її видів і форм;

– відкритість системи є недостатньою умовою для її самоорганізації, оскільки іншою найважливішою вимогою самоорганізації є необхідність знаходження системи в достатній віддаленості від стану термодинамічної рівноваги;

– на кожному етапі розвитку самоорганізація набуває специфічні риси: чим вище еволюційно знаходиться система, тим більше вимог пред'являються до умов її виникнення, і тим більш складного характеру процеси відбуваються в ній;

– оскільки будь-який розвиток завжди пов'язаний з виникненням нового, то джерелом і початковим його моментом служить поява випадковостей;

– флуктуації або випадкові відхилення системи спрямовують подальший її розвиток, тобто для відкритих нерівноважних систем характерним є поступове накопичення і посилення флуктуацій;

– визнання існування випадковостей дає можливість принципово, по-новому, підійти і до вирішення проблеми часу;

– необоротність, нестійкість і нерівноважність – найбільш фундаментальні властивості і ознаки еволюціонуючих систем ніж стійкість і рівноважність, які характеризують лише певні стани і моменти їх розвитку.

Згідно принципу відбору із усіх можливих рухів відбираються ті, що відповідають законам збереження [199, 297].

В процесі тимчасової еволюції синергетична система, що знаходиться в одному стані, переходить в новий стан (старий стан втрачає стійкість). При описі переходу з одного стану в інший не усі параметри стану мають однакове

значення і одні параметри стану (швидкі змінні) можна виразити через інші (повільні змінні), які називаються параметрами порядку, внаслідок чого кількість незалежних змінних зменшується.

1.3.8 Зміст принципів підпорядкування і відповідності Н. Бора

Можливість представлення швидких змінних у вигляді функцій параметрів порядку складає зміст принципу підпорядкування [471].

Принцип підпорядкування, сформульований Г. Хакеном, стверджує, що множина змінних, які контролюють процес дисипації енергії, при досягненні системою деякого порогового рівня підкоряється одній або декільком змінним стану (параметрам порядку). Параметр порядку і принцип підпорядкування належать до найбільш фундаментальних понять синергетики, яке акцентує увагу на узгодженості взаємодії частин, елементів при утворенні структури як єдиного цілого.

За останні тридцять років в фізиці процесів виявлено, що впорядкованість утворюється у відкритих системах, що знаходяться в нерівноважному стані [310, 311]. Згідно теорії, властивості відкритих систем, віддалених від рівноважного стану, виявляються нестійкими і повернення їх до початкового стану є необов'язковим. У деяких точках стану, які є біфуркаціями, поведінка системи стає неоднозначною.

При наявності в системі нестійкості змінюється роль зовнішніх дій. У певних умовах нескінченно мала дія на відкриту систему може привести до значних непередбачуваних наслідків. У відкритих системах, далеких від рівноважного стану, виникають ефекти узгодження, коли елементи системи корелюють свою поведінку на макроскопічних відстанях через макроскопічні інтервали часу. Така кооперативна, узгоджена поведінка характерна для систем різних типів. В результаті узгодженої взаємодії відбуваються процеси впорядкування, виникнення з хаосу певних структур, їх перетворення і ускладнення. Чим більші відхилення від рівноваги, тим більше спостерігаються охоплення кореляціями і взаємозв'язками, тим вища узгодженість процесів, навіть не пов'язаних один з одним. Самі процеси характеризують нелінійність, наявність оборотних зв'язків та можливості керуючої дії на систему, в якій вони протікають.

Теорія станів [368], віддалених від рівноваги, виникла в результаті сукупності трьох напрямів досліджень :

1. Розробка методів опису на основі статистичної фізики та створення кінетичних моделей, визначення параметрів, необхідних для опису, виявлення кореляції, великомасштабних флуктуацій, встановлення закономірностей переходу в стан рівноваги [349].

2. Дослідження стаціонарних станів, що зберігають стійкість в певному діапазоні зовнішніх умов, пошук умов самоорганізації, тобто виникнення впорядкованих структур з неврегульованих [282, 283].

3. Визначення якісних змін рішень нелінійних диференціальних рівнянь, що визначають стани далекі від рівноваги, залежно від вхідних параметрів на основі теорії катастроф [246].

Синтез цих трьох напрямів і є загальним підходом, тобто синергетичним, який називають по-різному: синергетика, теорія відкритих систем, теорія дисипативних структур, термодинаміка необоротних процесів.

За принципом відповідності Н. Бора будь-яка нова, більш загальна теорія, повинна включати усі відомі теорії як граничні часткові випадки. Він полягає в тому, що в методології науки твердження про будь-яку нову наукову теорію за наявності старої, добре перевіреної теорії, знаходиться з нею не в повному протиріччі, а дає наслідки в деякому граничному наближенні (частковому випадку). Цей принцип ввів датський фізик Н. Бор у 1923 році [471].

У квантовій механіці принципом відповідності є твердження про те, що поведінка квантово-механічних систем прагне до класичної фізики в межах великих квантових чисел. Правила квантової механіки успішно застосовуються в описі мікроскопічних об’єктів, типу атомів і елементарних частинок. З іншого боку, експерименти показують, що різноманітні макроскопічні системи можна достатньо точно описати у відповідності з класичними теоріями, використовуючи класичну механіку і класичну електродинаміку. Однак, вельми розумно вважати, що остаточно закони фізики повинні бути незалежними від розміру фізичних об’єктів, що описуються і є передумовою для принципу відповідності Н. Бора, згідно якого класична фізика є наближення до квантової фізики, у випадках коли системи стають великими. Умови, при яких квантова і класична механіки співпадають називаються класичною границею. Н. Бор запропонував чутливий критерій класичної границі коли відбувається перехід, – це великі квантові числа.

Принцип відповідності є одним з інструментів, доступних для фізиків для того, щоб вибрати відповідну дійсності квантову теорію [527]. В зв'язку з цим принципи квантової механіки досить широкі, які стверджують, що стани фізичної системи займають Гільбертовий простір, але не визначають який саме. Принцип відповідності обмежує вибір просторів, які відтворюють класичну механіку в класичних межах.

1.3.9 Зміст принципів, зв'язаних з властивостями ентропії та її виробництвом

Принцип самоорганізації безпосередньо доповнюють такі принципи: існування ентропії, неспадання ентропії, самонепорушності рівноваги, Ле-Шательє-Брауна, мінімуму виробництва ентропії [207, 464].

В середині XIX століття було зроблено суттєве відкриття, що стосувалося оборотних термодинамічних процесів. Поряд із внутрішньою енергією було визначено, з точністю до довільної сталої, таку функцію стану як ентропія. Якщо тіло або система при нескінченно малому переході з одного стану в інший при температурі T отримає тепло ΔQ, то відношення $\Delta Q / T$ є повним диференціалом деякої функції S. Ця функція і є ентропією [150]:

$$dS = \Delta Q / T, \qquad S_2 - S_1 = \int_1^2 \Delta Q / T. \tag{1.15}$$

Твердження про існування функції, диференціал якої дорівнює $\Delta Q/T$ носить назву принципу існування ентропії і є істотною частиною одного з найважливіших законів природи – другого початку термодинаміки. Відкриття цього принципу, як і другого початку термодинаміки, зв'язано, передусім з С. Карно і Е. Клаузіусом [229, 286, 298].

Сутність принципу, не дивлячись на деяку його абстрактність, легко зрозуміти: перехід системи (її елемента) з одного стану в інший може відбуватися нескінченною кількістю способів; при цих переходах система (її елемента) може отримати різну кількість тепла, але в усіх випадках інтеграл $\int_1^2 \Delta Q/T$ буде мати однакові значення. Величина, що характеризується відношенням кількості теплоти до температури, при якій це тепло одержано $\Delta Q/T$, є зведеною теплотою.

Принцип неспадання ентропії стверджує, що при будь-яких змінах стану в ізольованій системі ентропія не зменшується. Якщо в деякий момент часу замкнута система знаходиться в нерівноважному макроскопічному стані, то в наступні моменти часу найбільш імовірним наслідком є монотонне зростання її ентропії. Закон неспадання ентропії або так званий фізичний зміст другого закону термодинаміки, був відкритий Е. Клаузіусом (1865 р.), а його теоретичне обґрунтування дано Л. Больцманом (1870-і роки) [228, 405, 406].

Якщо в деякий момент часу ентропія замкнутої системи відмінна від максимальної, то в наступні моменти ентропія не спадає - збільшується або в граничному випадку залишається постійною. Ймовірність переходу в стан з більшою ентропією настільки велика у порівнянні з ймовірністю помітного її зменшення, що останнє практично може не спостерігатися.

Оскільки в усіх замкнених системах, що реалізуються в природі, ентропія ніколи не спадає, то усі процеси, що відбуваються з системами та її макроскопічними елементами, можна розділити на необоротні та оборотні. Під необоротними в замкнутій системі розуміють процеси, що супроводжуються зростанням ентропії усієї замкнутої системи, а під оборотними процесами – такі процеси, при яких термодинамічна ентропія залишається постійною.

В силу другого початку термодинаміки: виробництво ентропії σ_S за рахунок необоротних процесів усередині системи завжди позитивна $\sigma_S > 0$, тобто створюється, а не знищується ентропія. В той же час на величину і знак виробництва ентропії σ_S не накладаються ніякі обмеження і система може поглинати або віддавати ентропію через її граничні поверхні.

У ізольованій системі, не здатній обмінюватися речовиною і енергією із зовнішнім середовищем, що має ентропію $d_eS = 0$, повинні виконуватися співвідношення:

$$dS = d_iS = 0 \text{ – для оборотних процесів;}$$
$$dS = d_iS > 0 \text{ – для необоротних процесів.} \qquad (1.16)$$

З цього випливає, що внутрішні необоротні процеси в ізольованих системах завжди протікають у напрямі зростання ентропії. Зростання ентропії $d_i S \geq 0$ означає, що система розвиватися у напрямі найбільш ймовірного стану [372]. В стані термодинамічної рівноваги виробництво ентропії дорівнює нулю $\sigma_S = 0$, а сама ентропія є максимальною і постійною в часі: $S = \text{const} \rightarrow \max$.

Другий початок термодинаміки не містить в собі абсолютної заборони на неспадання ентропії в ізольованих системах. Через випадкові флуктуації можливі ситуації, коли певний час система розвивається у напрямі менш ймовірних макростанів, що відповідає спаданню ентропії. Це можливо в системах з порівняно невеликим числом частинок, коли роль флуктуацій відносно велика. У реальних системах ймовірність реалізації подібних ситуацій практично дорівнює нулю і заборона на спадання ентропії ізольованих систем є практично абсолютною. У термодинаміці це положення використовується у вигляді постулату про самонеруйнування рівноважних станів: термодинамічна система, що знаходиться в стані рівноваги і надана сама собі знаходитиметься в цьому стані невизначено довгий час, у відсутності зовнішніх дій [229, 286].

Поведінка ентропії в закритих і відкритих системах принципово відрізняється тим, що зовнішній внесок в повну ентропію системи може бути довільним, залежним від параметрів зовнішнього середовища і характеру її взаємодії з термодинамічною системою ($d_e S$ – величина довільна). При цьому можливі два типи ситуацій:

Повна ентропія системи зменшується ($dS<0$) за рахунок віддачі ентропії через граничну поверхню системи, тобто: система рухається до стану з низькою ентропією.

$$\frac{dS}{dt} < 0; \Phi_S > \sigma_S . \qquad (1.17)$$

Повна ентропія системи постійна і максимальна для цих умов, але менше ентропії рівноважного стану замкнутої системи:

$$S_{\max} = const < S_{рівн.\max} . \qquad (1.18)$$

При виконанні умови рівності потоку ентропії її виробництву, $\Phi_S = \sigma_S$ система знаходиться в стійкому стаціонарному стані або стані поточної рівноваги. Оскільки $d_i S > 0$, то енергетичні процеси в системі завжди дисипативні, тобто супроводжуються зменшенням і розсіянням енергії. Дисипація енергії – основна ознака поточної рівноваги. Таким чином, другий початок термодинаміки характеризує напрям розвитку процесів в термодинамічних системах. В той час відповідно до принципу самонепорушності рівноваги – термодинамічна система, що досягла рівноваги, самочинно вийти з нього не може [255, 286].

Якщо на систему, що знаходиться в стійкій рівновазі, впливати ззовні, змінюючи який-небудь чинник умови рівноваги (температура, тиск,

концентрація, зовнішнє фізичне поле та ін.), то в системі посилюються процеси, спрямовані на компенсацію зовнішньої дії.

Анрі Ле Шателье (Франція) сформулював термодинамічний принцип рухливої рівноваги, який пізніше був узагальнений Карлом Брауном, тому принцип отримав назву принцип Ле Шателье-Брауна [471].

За принципом Ле Шательє-Брауна, зовнішня дія, що виводить систему з положення термодинамічної рівноваги, викликає в її елементах такі процеси, які прагнуть послабити результат дії. Принцип дозволяє передбачити напрям зміщення стану без детального аналізу рівноваги [464].

Вплив температури залежить від знаку теплового ефекту реакції. При підвищенні температури хімічна рівновага зміщується у напрямі ендотермічної реакції, а при пониженні температури – у напрямі екзотермічної реакції. В загальному випадку при зміні температури хімічна рівновага зміщується у бік процесу, знак зміни ентропії в якому співпадає зі знаком зміни температури.

Тиск істотно впливає на положення рівноваги в реакціях за участю речовин, що супроводжуються зміною об'єму за рахунок зміни кількості речовини при переході від початкових речовин до продуктів реакції: при зниженні тиску рівновага зміщується в напрямі зменшення сумарної кількості молей речовини і навпаки.

Вплив концентрації на стан рівноваги підкоряється наступним правилам: при підвищенні концентрації однієї з початкових речовин рівновага зміщується у напрямі утворення продуктів реакції; при підвищенні концентрації одного з продуктів реакції рівновага зміщується у напрямі утворення початкових речовин. Тепловий ефект реакції є мірою хімічної спорідненості між реагентами.

Основний зміст принципу Бертло-Томсена [471]: теплота, що виділяється при реакції, служить мірою суми фізичних і хімічних робіт, які здійснюються при цій реакції. Цей принцип ще називають принципом максимальної роботи, оскільки будь-яке самочинне хімічне перетворення прагне до утворення продуктів реакції, які виділяють найбільшу кількість тепла, вважаючи, що реакції самочинно протікають лише тоді, коли супроводжуються виділенням теплоти, але це відбувається далеко не так, особливо це стосується оборотних реакцій.

Принцип мінімуму виробництва ентропії стверджує, якщо закони природи допускають декілька варіантів протікання процесу розвитку (організації), то реалізується тільки той, якому відповідає мінімальне розсіювання енергії. Принцип визначає рушійну силу процесів самоорганізації [309]. Процес самоорганізації представляється як ФП або послідовність ФП в матеріалах елементів систем. В результаті чого відбувається перехід у більш впорядкований стан, такий, що відповідає нижчій симетрії. Принцип мінімуму виробництва ентропії стверджує, що виробництво ентропії в новому – менш симетричному стані, що виник в результаті чергового ФП, менше виробництва ентропії попереднього стану, який умовно подовжений в нестійку область.

1.3.10 Зміст та характеристика принципу найменшої дії

Зміст принципу найменшої дії (ПНД) полягає в наступному: серед усіх можливих переміщень системи та її елементів реалізується те, для якого мінімальна величина добутку витраченої енергії на час дії. ПНД, точніше принцип стаціонарності дії, це отримання рівнянь руху фізичної системи за допомогою пошуку стаціонарного значення спеціального функціонала дії. Ірландський вчений У. Гамільтон використав цей принцип для побудови так званого гамільтонівського формалізму в класичній механіці.

Принцип стаціонарності дії – найбільш важливий серед сімейства екстремальних принципів. Не усі фізичні системи мають рівняння руху, які можна отримати з цього принципу, проте усі фундаментальні взаємодії в системах підкоряються йому у зв'язку з чим цей принцип є одним з ключових положень сучасної фізики. Отримувані з його допомогою рівняння руху мають назву рівнянь Ейлера – Лагранжа [240, 269].

Перше формулювання принципу дав французький вчений П. Мопертюї в 1744 році, відразу ж вказавши на його універсальну природу. Вважаючи його прикладеним до оптики і механіки, вивів закони відбивання і заломлення світла. Остаточно ПНД був спочатку сформульований П. Мопертюї у 1746 році і пізніше уточнений Л. Ейлером, Ж. Лагранжем і У. Гамільтоном.

П. Мопертюї прийшов до цього принципу з упевненістю, що досконалість Всесвіту вимагає певної економії в природі і суперечить будь-яким даремним витратам енергії. Природний рух має бути таким, щоб зробити деяку величину мінімальною. Такою величиною був добуток тривалості (час) руху в межах системи на подвоєну величину її кінетичної енергії [298].

Л. Ейлер у 1748 р. приймає принцип найменшої кількості дії, називаючи дію "зусиллям". Його відображення в статиці відповідає потенціальній енергії, тобто найменша дія в статиці еквівалентна умові мінімуму потенційної енергії для конфігурації рівноваги.

ПНД служить фундаментальною і стандартною основою лагранжевого і гамільтонового формулювань механіки. Вважається, що дія є скаляром. Її можна легко записати у будь-яких узагальнених координатах, головне тільки, щоб положення (конфігурація) системи однозначно характеризувалося ними.

Аналогічно вводиться поняття дії в механіці суцільного середовища і класичної теорії поля. У них дія включає інтеграл від лагранжевої щільності, залежної від параметрів середовища (поля) в кожній точці простору і їх похідних по просторових координатах і часі. Отримувані варіюванням дії рівняння руху стають рівняннями в частинних похідних.

Принцип стаціонарності дії виявився одним з найпростіших способів забезпечити релятивістську інваріантність рівнянь руху. Для цього досить, щоб лагранжева щільність була скаляром (інваріантом) при перетвореннях системи референції, наприклад, перетвореннях Лоренца. Через це роль принципу істотно зросла в релятивістській фізиці. Зокрема, теорема Е. Нетер, що визначає збережувані величини, при тимчасовій еволюції польових систем, відноситься саме до лагранжевих систем [240].

В механіці цей принцип є експериментальним для рівноважних процесів:

$$\delta J = \delta \int_{\tau_1}^{\tau_2} (K - \Pi) dt = 0, \qquad (1.19)$$

де δ – символ варіації функції; J – дія; K, Π – відповідно кінетична і потенціальна енергії системи.

У відповідності до принципу симетрії властивості системи можуть залишатися незмінними (інваріантними) в результаті дії деякої групи перетворень: в кожному матеріальному процесі слід шукати зберігаючу величину (субстанцію, відношення, закон). В зв'язку з цим теорема Е. Нетер зв'язує симетрію із законами збереження.

У квантовій механіці, відповідно до копенгагенської інтерпретації, не вимагається знати, яким конкретно чином рухається частинка. Більше того, у формулюванні Р. Фейнмана [364] стверджується, що частинка рухається з початкового стану в кінцеве відразу по усіх можливих траєкторіях (яких, очевидно, нескінченне число). Амплітуда ймовірності переходу з одного заданого стану в інший є сумою амплітуд по усіх цих траєкторіях і записується у вигляді функціонального інтегралу [223]:

$$\psi(x) = \int [D \cdot x] e^{(iS[x]/\hbar)}. \qquad (1.20)$$

В принципі дія в експоненті з'являється сама при вивченні оператора еволюції в квантовій механіці, проте для систем, що мають точний класичний (неквантовий) аналог, вона в точності рівна звичайній класичній дії.

Для майже будь-якого шляху знайдеться такий шлях, на якому набіг фази буде в точності протилежним, і вони в сумі дадуть нульовий вклад. Не скорочуються лише ті траєкторії, для яких дія близька до екстремального значення (для більшості систем – це мінімум). Зазначене має суто математичний факт з теорії функцій комплексного змінного, на якому заснований метод стаціонарної фази [363, 501].

В результаті частинка у повній узгодженості із законами квантової механіки рухається одночасно по усіх траєкторіях, але в звичайних умовах спостережувані значення вносять вклад тільки траєкторії, близькі до стаціонарних (тобто класичним). Оскільки квантова механіка переходить в класичну в межах великих енергій, то можна вважати, що це –квантово-механічне отримання класичного принципу стаціонарності дії. У квантовій теорії поля принцип стаціонарності дії також успішно застосовується. У лагранжеву щільність тут входять оператори відповідних квантових полів.

При виборі матеріалів ТЕ, робочого та технологічного середовища в ТТС, коли бажають одержати мінімальну інтенсивність зносу при малому коефіцієнті тертя, користуються ПНД, який на практиці реалізується завдяки принципу зворотного зв'язку. В ТТС з мастильним середовищем принцип зворотного зв'язку проявляється один раз при граничному мащенні при

припрацюванні, коли виникає так звана рівноважна шорсткість, і двічі в режимі вибіркового перенесення – при утворенні плівки і в сталому режимі при регулюванні її дефектності [288].

Розглянемо ПНД докладніше. А.А. Петрушенко [487] стверджує, що історично ПНД, ймовірно, є однією з найстародавніших форм квазікерування. ПНД безпосередньо зв'язаний з такими властивостями систем і процесів, які в них відбуваються як доцільність та внутрішня активність ТТС.

У самому основному і істотному, першовідкривач принципу П. Мопертюї не помилився – ПНД має велике і багато в чому ще не вивчене значення. Він включає закон збереження енергії і тісно пов'язаний з теорією відносності А. Ейнштейна [359].

Сучасне формулювання ПНД наступне: для кожної фізичної системи є деяка величина, що характеризує дію і приймає найменше значення в процесі функціонування [398, 540].

Якщо відомо, що флуктуації і інерційність зв'язані в ТТС такою властивістю як збережуваність, то, виходячи із ПНД, можна знайти їх тісний зв'язок з властивістю оптимальності. Відзначимо також, що сама розвинута форма авторегуляції в ТТС виявляється принципом зворотного зв'язку і пов'язана з пристосованістю (доцільністю) елементів в ній. Характерним є і те, що від оптимальності явищ в ТТС, де діють такі форми авторегуляції як симетрія і ПНД, тільки один крок до доцільності (пристосованості) елементів, станів і явищ в ТТС, де діють такі форми авторегуляції, як компенсація і зворотній зв'язок із зовнішнім середовищем. Зауважимо, що доцільність завжди є в тому або іншому відношенні оптимальності, але не будь-яка оптимальність завжди є доцільною. Оскільки оптимальність так або інакше пов'язана з екстремумом функції поведінки та стану ТТС (мінімумом та максимумом), то, мабуть, одним із засобів досягнення оптимальності є мінімізація похибки або розгалуження, згортання і усунення відмінності в процесі відновлення стану ТТС. Доцільність не вичерпується мінімізацією і не зводиться до неї, хоча, зберігає і утримує в собі оптимальність і збережувність у наявному вигляді.

Зазначене свідчить, що між збережуваністю, оптимальністю і доцільністю (пристосованістю) існує певний внутрішній зв'язок, який на рівні збережуваності забезпечується флуктуаціями і інерційністю, на рівні оптимальності – симетрією і ПНД, а на рівні доцільності – компенсацією і зворотнім зв'язком. Тому логічно припустити, що послідовність таких властивостей ТТС, як збережуваність, оптимальність і доцільність (пристосованість), відповідає послідовності пов'язаних з ними форм квазікерування ТТС: флуктуація і інерційність, симетрія [252, 529] і ПНД, компенсованість і зворотній зв'язок (рис. 1.12).

В межах збережуваності, оптимальності і доцільності (пристосованості) наявна деяка повторюваність в кожному з них як з точки зору динамічного, так і статичного аспектів. Флуктуації спільно з інерційністю пов'язані із властивістю збережуваності. Проте цей зв'язок подвійний: флуктуації пов'язані із збережуваністю в ТТС динамічно, а інерційність – статично; симетрія з

оптимальністю зв'язана статично, а ПНД – динамічно; компенсованість з доцільністю зв'язана статично, а принцип зворотного зв'язку – динамічно.

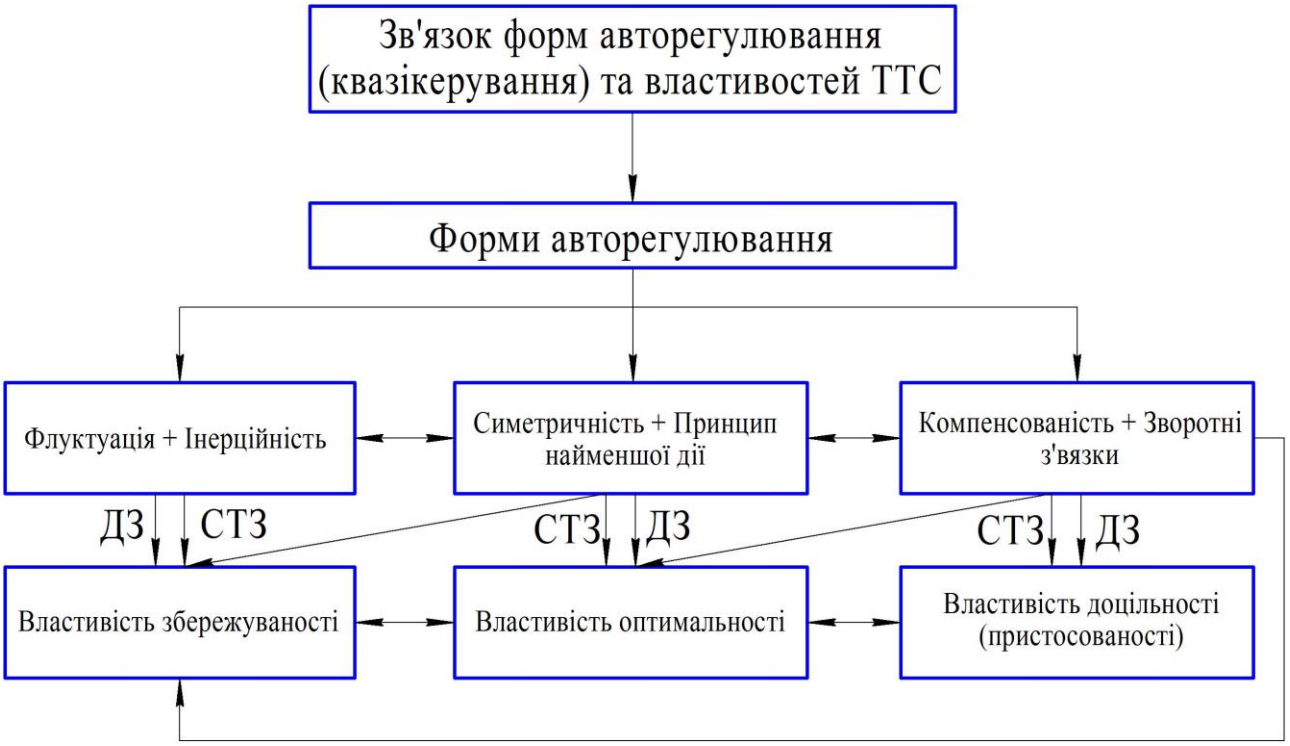

Рисунок 1.12 – Збережуваність, оптимальність і доцільність (пристосованість) як результати дії визначених форм авторегуляції або керування: ДЗ – динамічний зв'язок; СТЗ – статичний зв'язок

Збережуваність і оптимальність на відміну від доцільності (пристосованості) визначеним чином пов'язані не тільки з відповідними їм формами квазікерування (авторегуляції), але також і з іншими. Збережуваність характерна для всіх форм квазікерування в ТТС, оптимальність – тільки для симетрії і ПНД та компенсованості і зворотних зв’язків. Зазначимо також, що найменше розвинутим формам квазікерування ТТС є флуктуації і інерційність, які відповідають збережуваності найбільш розвинутій формі принципу зворотного зв'язку – доцільності. Збережуваність в широкому значенні слова пов'язана з постійністю існування ТТС, її стійкістю, необхідними умовами реалізації самоорганізації. При цьому симетрія характеризує збережуваність внутрішньої форми ТТС, тобто її структуру, гармонійність і відповідність співвідношень між ТЕ, робочим (технологічним) середовищем і зв'язками їх структури, збереження певного порядку в будові ТТС, ритму її діяльності і т.п. Інерційність – пов'язана із збережуваністю функціонування ТТС, але вже не стільки систем, скільки рухів їх ТЕ і робочого (технологічного) середовища. ПНД свідчить про збереження спрямованості руху та його кількості. Зворотні зв'язки характеризують в основному збереження (підтримка і відновлення) оптимального функціонування ТТС в її цілісності, а також зміни характеристик і властивостей елементів ТТС в процесі еволюційного розвитку у напрямі прогресу.

Ймовірно, що властивості збережуваності, оптимальності і пристосованості (доцільності) – це зв'язані між собою результати дії відповідних форм керування (авторегуляції) в ТТС.

Форми керування (авторегуляції) в ТТС та їх властивості збережуваності, оптимальності і доцільності (пристосованості) в процесі еволюції спрямовані таким чином, що збережуваність відповідає її низьким етапам, а доцільність – більш високим. У міру еволюції станів ТТС відбувається поступовий і необоротний перехід від збережуваності і обумовлюючих її форм квазікерування (флуктуацій і інерційності) до оптимальності, що обумовлена симетрією і ПНД, а потім до доцільності, обумовленою компенсацією і зворотними зв'язками із зовнішнім середовищем.

Дослідження свідчать, що збережуваність є більш широкою і загальною властивістю, ніж оптимальність, подібно тому як остання властивість є більш широкою і загальною, ніж доцільність (пристосованість). З іншого боку, доцільність (пристосованість) містить в собі в прихованому вигляді оптимальність, подібно тому як остання містить в прихованому вигляді збережуваність. Це свідчить про те, що в ланцюзі "збережуваність ↔оптимальність↔доцільність (пристосованість)" кожна наступна ланка діалектично заперечує попередню і, у свою чергу, сама піддається запереченню з боку подальшої ланки. Оскільки цей ланцюг пов'язаний з аналогічним ланцюгом "флуктуаційність+інерційність↔симетричність+ принцип найменшої дії↔компенсованість+зворотні звязки", то і в ланцюзі форм авторегулювання (квазікерування) теж повинен виявлятися процес діалектичного заперечення.

Висловлене дозволяє зробити висновок про існування взаємозв'язку квазікерування і його форм. Це означає, що форми квазікерування і обумовлені ними властивості збережуваності, оптимальності і доцільності в ТТС знаходяться у взаємозв'язку. Останнє є вже не принципом квазікерування в ТТС, а принципом її керування. В реальних умовах і в конкретних конструкціях ТТС ці принципи дають можливість розробити сукупність методів зниження ентропії в ТТС. Зниження ентропії, обслуговуючи основний механізм дисипації, забезпечує формування ДС і реалізації процесів і станів самоорганізації. Проте якщо принципи квазікерування властиві елементам ТТС, то для реалізації процесів самоорганізації потрібен як відбір матеріалів ТЕ, робочого (технологічного) середовища, так і поєднання умов і ознак для самочинної зміни стану і поведінки ТТС в позитивному напрямку її еволюції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аджемян Л.Ц. Квантово-полевая ренормализационная группа в теории развитой турбулентности / Л.Ц Аджемян // Успехи физич. наук. – 1996. – Т. 166. – № – 12. – С. 1257–1284.
2. Азроянц Э.А. Немарковские процессы как новая парадигма / Э.А. Азроянц, А.С.Харитонов, Л.А.Шелепин // Вопросы философии. – 1999. – № 7. – С. 94–104.
3. 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.
4. Алгазин С.Д. Флаттер пластин и оболочек. / С.Д.Алгазин, И.А. Кийко. – М. : Наука, 2006. – 247 с.
5. Александров В.В. Развивающиеся системы. В науке, технике, обществе и культуре. Ч. 1. Теория систем и системное моделирование / В.В. Александров. – СПб: СПбГТУ, 2000. – 243 с.
6. 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.
7. Алексеев В.П. Электрохимико-механическая макроприработка деталей. Монография / В.П. Алексеев. – Луганск: Элтон-2, 2011 – 204 с.
8. Алифов А.А. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии./ А.А.Алифов, К.В.Фролов. – М. : Наука, 1985. – 328 с.
9. Алтоиз Б.А. Модель Изинга эпитропной жидкокристаллической фазы / Б.А.Алтоиз, Ю.М.Поповский, Е.С.Ляхова // Коллоидный журнал. - 2000. - Т.62. №3. - С.299-302.
10. Алтоиз Б.А. Свойства Изинговой модели эпитропной мезофазы в симметрично ограниченной прослойке /Б.А.Алтоиз, Е.Ю.Дадонова, Д.Д.Недялков, Е.В.Макуха // Межд. период. сб-к "Обработка дисперсных материалов и сред", Одесса: НПО"Вотум". - 2003. - № 13. - С.42-48.
11. Алтоиз Б.А. Физика приповерхностных слоев./Б.А.Алтоиз, Ю.М.Поповский. - Одесса: Астропринт, 1995.- 153 с.
12. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
13. Аметов В.А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла: Доктор. дис. техн. наук: спец. 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" / В.А. Аметов. – Тюмень, 2006. – 382 с.
14. 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.
15. Анисимов М.А. Критические явления в жидкостях и жидких кристаллах / М.А.Анисимов. – М.: Наука, 1987. – 270 с.
16. Анохин П.К. Принципиальные вопросы теории функциональных систем / П.К. Анохин // Философские аспекты теории функциональных систем. – М.: Наука, 1978. – С. 49-106.
17. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И.Арнольд. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
18. Арсентьева И.П. Процессы самоорганизации при формировании и консолидации наночастиц металлических порошков / И.П.Арсентьева и др.//Фракталы и прикладная синергетика. Труды межд. междисцип. симпозиума ФиПС-03. – М.: Изд-во МГОУ, 2003. – С. 281–284.
19. 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.

20. Атлас почв Украинской ССР. - К.: Урожай, 1979.– 159 с.

21. Аулин В.В. Аномалия структурных превращений и массопереноса в металлах при лазерном воздействии / В.В.Аулин, Н.М.Боранбаева, С.Д.Звонков // Сб.: "Труды 11-й Дальневосточной школы – семинары по физике и химии твёрдого тела." Благовещенск: 1988. – т.2. – С.66-70.

22. Аулин В.В. Влияние концентрированных поток энергии на растворимость бора в железе / В.В.Аулин, Б.Б.Сомов // Сб.: "Новые процессы получения, обработки и методы исследования металлических материалов". – М.: Наука. – Институт металлургии им. А.А. Байкова, – АН СССР, 1987. – С.41-42.

23. Аулин В.В. Влияние лазерной обработки на процессы сегрегации атомов в конструкционных материалах / В.В. Аулин // Сб. "Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин". – Мн.: УП "Технопринт", Новополоцк, ПГУ, 2003. – С.255-257.

24. Аулин В.В. Влияние лазерной обработки на свойства и структуру борированных сталей / В.В.Аулин, С.Д.Звонков // Сб."Применение лазеров в народном хозяйстве". М., Наука, 1985, С.150-151.

25. Аулин В.В. Влияние мощного лазерного излучения на массоперенос примесей внедрения в железе / В.В.Аулин, С.Д.Звонков // Сб."Повышение износостойкости и усталостной прочности деталей машин обработкой концентрированными потоками энергии". М., Наука, 1985, С.47-49.

26. Аулин В.В. Зернограничное внутреннее трение нелегированной меди, подвергнутой непрерывному лазерному облучению // В.В.Аулин, Г.М.Ашмарин, М.Ю.Голубев // Физика и химия обработки материалов. – АН СССР, 1986. – №5. – С.147-151.

27. Аулин В.В. Изменение текстуры рабочей поверхности деталей сельскохозяйственных машин после лазерной обработки / В.В.Аулин, Б.Б.Сомов, Т.М.Аулина // Сб. "Конструирование и технология производства с/х машин". Вып. 20. - Київ: Техніка, 1990. – С.88-91.

28. Аулин В.В. Массоперенос и термопластические деформации в металлах и сплавах, подвергнутых лазерному облучению / В.В.Аулин, С.Д.Звонков // Сб."Применение лазерной технологиии для повышения качества изделий". - Тюмень, 1985 - С.60-61.

29. Аулин В.В. О влиянии лазерного излучения на массоперенос примесей замещения в твёрдых растворах на основе железа / В.В.Аулин, Г.П.Миловзорова, С.Д.Звонков // Сб."Применение лазерной технологии для повышения качества изделий". - Тюмень, 1985. - С.56-59.

30. Аулин В.В. Об использовании лазерного излучения для упрочнения деталей / В.В.Аулин, С.И.Шмат, Т.М.Аулина // Конструирование и технология пр-ва с/х машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Вып. 18. – К.: Тэхника, 1988. – С.82-85.

31. Аулин В.В. Перспективы развития триботехнологий повышения долговечности деталей дизелей мобильной техники / В.В.Аулин, Е.К.Соловых, С.В.Лысенко, А.В.Кузык // Материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения проф. Вадивасова Д.Г. / Под. ред. В.В. Сафонова; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – С.10-16.

32. 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: материалы 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.

33. Аулин В.В. Технологии триботехнического восстановления изношенных поверхностей деталей с использованием композиционного масла и воздействия физических полей / В.В.Аулин, С.В.Лысенко // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]: материалы X междунар. заочн. науч.-техн. конф. 21 ноября 2013 г., Пенза / [редкол.: Э.Р. Домке (отв. ред.) и др.]. – Пенза:

ПГУАС, 2013. – с. 7-16.

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

35. Аулин В.В. Физические основы разработки технологических методов модификации и трибофизические основы модифицированных материалов / В.В.Аулин // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 9-й междун.научн.-техн.конф., 25–29 мая 2009, г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2009. – С.16-19.

36. 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.

37. Аулін В.В. Неврівноваженість зернограничних перетворень в конструкційних матеріалах в полі лазерного випромінювання/ В.В.Аулін, В.М.Бобрицький, Є.К.Солових, В.О. Дубовик// Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 6-й междун.научн.-техн.конф., 30 мая – 1 июня 2006, г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2006. – С.20-23.

38. Аулін В.В. Фізичні основи тертя і спрацювання композиційних матеріалів та покриттів/В.В.Аулін// Восьмий міжнар. симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРІ ЛДТ. – 2007. – С. 134.

39. Аулін В.В. Абразивна зносостійкість лазерно-модифікованих композиційних покрить / В.В.Аулін // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузі машинобудуванні". – Вип. 12. – 2003. – С.219-223.

40. Аулін В.В. Автоматичне керування процесом індукційного наплавлення композиційних покриттів / В.В. Аулін, Л.Г. Віхрова, В.А. Бісюк, В.М. Бобрицький // Зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. університету "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КНТУ.- 2006. – Вип. 17 С.15-22.

41. Аулін В.В. Аналіз та можливості технологій триботехнічного відновлення спряжених деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.Б. Батєхін // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин // Загальнодержавний міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ. - 2005. – Вип.35. – С. 165-172.

42. Аулін В.В. Аналіз характеру зношування лез грунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, Є.К. Солових // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин // Загальнодержавний міжвід. наук. – техн. зб. - Кіровоград: КНТУ. - 2005. – Вип.35. – С. 153-157.

43. 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. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження", "Ольвійський форум 2013: Стратегія країн Причорноморського регіону в геополіт. просторі", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.84-86.

44. Аулін В.В. Визначення об'ємного вмісту наповнювача в антифрикційному композиційному покритті / В.В. Аулін // Машинознавство, 2004. – №7(85). – С. 49-53.

45. Аулін В.В. Влияние способов модификации комбинированных композиционных покрытий на их износостойкость / В.В. Аулін, О.В. Крилов, Є.К. Солових // Матеріали ІІІ міжнар. наук. – техн. конф.: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009. - С 97-99

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

47. 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.

48. Аулін В.В. Відображення характеру поверхневого зміцнення матеріалів трибоелементів на зміні електромагнітних, фізико-механічних і трибологічних їх властивостей / В.В. Аулін // Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2010", 11-15 червня 2010 Ялта. – С.13-14.

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

50. 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.

51. Аулін В.В. Вплив зміцнюючих композиційних покриттів на зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, Т.М. Ауліна, В.М. Бобрицький // Надійність і довговічність машин і споруд, 2005. – вип. 24. – С.21-27.

52. Аулін В.В. Вплив комбінованого модифікування мастильного середовища на зміну режимів тертя в трибоспряженнях деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2013. – №2 – С.13-20.

53. Аулін В.В. Вплив композиційної моторної оливи на зміну структури поверхонь тертя деталей дизеля / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження", "Ольвійський форум 2013: Стратегія країн Причорноморського регіону в геополіт. просторі", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.81-83.

54. Аулін В.В. Вплив параметрів лазерної обробки і процесу масопереносу на товщину зміцненого шару відновлюваних деталей / В.В. Аулін, О.Й. Мажейка, Т.М. Ауліна, П.А. Коваленко // Збірник наукових праць Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування. Вип.1. Кіроровоград, 1997. – С.138-142.

55. Аулін В.В. Вплив мастильного середовища на зміну структурного стану при поверхневих шарів матеріалу деталей у зоні тертя/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2010", 11-15 червня 2010 Ялта. – С.37-38.

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

57. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості композиційної моторної оливи / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2012. – №4 – С.28-33.

58. 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. Материалы 4-й междунар. научн.-техн. конф., 24-26 мая 2005, г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2005. – С.289-291.

59. Аулін В.В. Вплив напружено-деформованого стану циліндричної деталі на її зносостійкість/ В.В. Аулін, В.О. Дубовик, М.В. Красота// Зб. наук. праць Луганського нац. аграрн. університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2006, - №64(87). – С 26-30.

60. Аулін В.В. Вплив режимів тертя в основних сполученнях деталей на механічні втрати в ДВЗ / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Вісник інженерної академії України. – 2011. – №2. – С. 200-204.

61. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при дії на нього робочого органу ґрунтообробної машини / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А.Тихий // Збірник тез матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Ольвійський форум 2011» Секція «Трибологія, ресурсо- та енергозбереження» , 8-12 червня 2011, Ялта. – С.27-29.

62. 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.

63. Аулін В.В. Врахування внутрішнього і зовнішнього тертя в трибосистемі "РОҐМ-ґрунт" при виявленні механізму зношування та розробці технологій зміцнення / В.В. Аулін // Матеріали IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподар. техніки", вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 164-167.

64. Аулін В.В. Врахування макроскопічної і мікроскопічної неврівноваженостей в розробці технологій лазерного зміцнення / В.В.Аулін, Т.М.Ауліна, П.А.Коваленко // Зб. наук. праць "Проблеми підвищення надійності та довговічності машин", Кіровоград: КІСМ, 1996. – С.88-89.

65. 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.

66. 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. ХДУ, 2010.-№3- С.54-59.

67. Аулін В.В. Динамічна адаптація спряжень деталей до умов експлуатації з реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін / Матеріали II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженерної механіки", 22-24 жовтня 2012р. – Миколаїв: НУК, 2012.- С 73-74.

68. Аулін В.В. Динамічне матеріалознавство поверхневих шарів спряжень деталей машин в трибології / В.В. Аулін // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 13-й Междунар. научн.-техн. конф., 03–07 июня 2013 г., г. Ялта.– Киев: АТМ Украины, 2013.– С. 24-26.

69. Аулін В.В. До проблеми виявлення видів та природи зношування робочих органів машин, що працюють з ґрунтами / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький / Матеріали II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженерної механіки", 22-24 жовтня 2012р. – Миколаїв: НУК, 2012.- С 88-89.

70. Аулін В.В. Дослідження мікрогеометрії поверхонь тертя деталей фрактальним методом / В.В. Аулін, С.М. Лізунов // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин // Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ. – 2009. – Вип.39. С. 280-286.

71. Аулін В.В. Дослідження специфіки впливу лазерного променя на матеріали за допомогою матриці щільності та розроблення на цій основі технологій зміцнення і відновлення / В.В. Аулін, С.О. Магопець, Т.М. Ауліна, О.С. Магопець // Вісник Харьківського держ. техн. ун-ту с/г. Вип.8. /Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. – Харьків, 2001. – С.295-300.

72. Аулін В.В. Дослідження стану зміцнених поверхневих шарів матеріалів за коерцитивною силою / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батєхін, В.М. Власовець, С.М. Лізунов // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2006. – №2 – С. 80-87.

73. Аулін В.В. Методика визначення кількості води в моторних працюючих оливах / В.В. Аулін, О.А. Андрєєв, О.Ю. Жулай // Тези доповідей студентів, магістрантів та аспірантів на III Всеукраїнської студентської науково–практичної конференції “Підвищення надійності машин і обладнання” 15 квітня 2009 року.– Кіровоград:КНТУ, 2009.– С. 130-132

74. Аулін В.В. Експрес-оцінка впливу моторних олив і присадок до них на характеристики зносу робочих поверхонь деталей двигунів вантажних автомобілів / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко // Вісник інженерної академії України. – 2013. – №2. – С. 166-170.

75. Аулін В.В. Електрибохімічний метод прискореного припрацювання пар тертя при обкатці двигунів / В.В. Аулін, М.В. Власенко, С.В. Лисенко // Міжнар. наук. журнал "Проблеми трибології" (Problems of Tribology). Хмельницький, 2001. – №2 (19). – С.3-7.

76. 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.

77. 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.

78. 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 Харківського нац. техн. університету сільск. господарства ім. П.Василенка /Вип. 118. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків. – 2011.-С.263-267.

79. Аулін В.В. Величина і характер зношування РОГМ при різній глибині обробітку / В.В. Аулін, А.А. Тихий, В.М. Бобрицкий // Збірник тез матеріалів міжнародної науково практичної конференції «Ольвійський форум - 2012» Секція «Трибологія, енерго- та ресурсозбереження» , 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.54-56.

80. 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.

81. Аулін В.В. Зміна властивостей оливи при електотрибохімічному відновленні робочих поверхонь деталей дизелів / В.В. Аулін, М.Ф. Семенюк, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2009. – №1 – С.68-70.

82. Аулін В.В. Зміна режимів тертя в сполученнях деталей модифікуванням композиційної оливи електричним та магнітним полем / В.В. Аулін, О.В. Кузик / Матеріали міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженерної механіки", 25-26 жовтня 2011р. – Миколаїв: НУК, 2011.- С 78-79.

83. 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 сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, вип. 26. – Кіровоград, 2013. – С.32-40.

84. 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.

85. Аулін В.В. Зміцнення, як метод отримання самозагострюваного леза / В.В.Аулін, Є.К.Солових, Ю.В.Мачок // Сб. наук.-техн. проблем станкостроения, производства технологической оснастки и инструмента: Материалы научн.-техн. конф. 4-6.06.2002. г.Одесса-Киев. АТМ Украины, 2002. – С.123-124.

86. 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.

87. Аулін В.В. Фазовий склад грунтового 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.

88. Аулін В.В. Моделювання процесів формування структурозалежних властивостей при проектуванні композиційних матеріалів і покриттів / В.В. Аулін, Є.К. Солових, В.М. Бобрицький, О.Ю Жулай // Машиностроение и техносфера XXI века / Сб. трудов XIII Междунар. научн.-техн. конф. 11-16 сентября 2006 г. в Севастополе. – Том 1-5. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – Том 5. – С. 231-239.

89. 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.

90. Аулін В.В. Модифікація структури поверхневих шарів деталей лазерним

випромінюванням / В.В. Аулін, В.Б. Батєхін, В.М. Бобрицький, Ф Й. Златопольський// Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 6-й междун.научн.-техн.конф., 30 мая – 1 июня 2006. – Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2006. – С.18-20.

91. Аулін В.В. Модифікування структури і властивостей поверхневого шару деталей машин концентрованими потоками енергії / В.В. Аулін, В.Б. Батєхін // Зб. наук. праць Держ. льотної академії "Наукові праці академії". Кіровоград: ДЛАУ.- 2003. – Вип. 7, ч.II.- С.213-217.

92. 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 нац. аграрн. університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2009. №3. - С. 6-17.

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

94. Аулін В.В. Напрямки побудови фізико-математичних моделей процесів тертя та зношування в машинах / В.В. Аулін // Вісник Харківського нац. техн. університету сільськ. господарства. / Вип. 40. Техн. сервіс АПК, техніка та техн. у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків. – 2005.-С.349-354.

95. Аулін В.В. Неньютонівський характер властивостей моторних олив / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2011", 8-12 червня 2011 – Ялта. – С.48-49.

96. 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. Батєхін // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2005. – №2 – С.103-112.

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

98. Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2012: Стратегія України в геополітичному просторі", 6-10 червня 2012, – Ялта., т. 12. – С.60-62.

99. Аулін В.В. Особливості впливу лазерної обробки на матеріали деталей сільськогосподарської техніки при їх термозміцненні / В.В. Аулін, С.О. Магопець, О.С. Магопець, Т.М. Ауліна, С.М. Лізунов // Загальнодерж. міжвідом. наук.-техн. зб. / Конструкція, виробництво та експлуатація СГМ. / Вип. 34.- Кіровоград: КНТУ. – 2004. - С.229-233.

100. Аулін В.В. Особливості зміцнення конструкційних матеріалів у нерівноважних умовах їх обробки / В.В. Аулін, Є.К. Солових, О.С. Магопець, Т.М. Ауліна, С.О. Магопець // Вісник Харківського держ. техн. університету сільськ. господарства "Підвищення надійності відновлюємих деталей машин". - Вип. 4. – Харків, 2000. – С.129-135.

101. 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 нац. техн. університету сільськ. господарства. /Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2010.-.№100- С.158-165.

102. Аулін В.В. Підвищення зносостійкості деталей лазерним легуванням без оплавлення поверхні / В.В. Аулін, Т.М. Ауліна, О.С. Магопець, С.А. Мартиненко, М.В. Остапчук // Міжнар. наук.-техн. конф. "Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин (ЗНМ-2000)" 17-19 травня 2000. – Тези доповідей. – Хмельницький, 2000. – С.17.

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

104. Аулін В.В. Підвищення триботехнічних характеристик деталей модифікуванням поверхневих шарів лазерними технологіями / В.В. Аулін, В.Б. Батєхін, С.В. Лисенко // Сучасні проблеми триботехніки / Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. 29 вересня – 1 жовтня. – Миколаїв: НУК, 2005. – С. 93-95.

105. Аулін В.В. Поверхнева сегрегація атомів в конструкційних матеріалах, підлеглих лазерній обробці та вплив її на трибологічні властивості / В.В.Аулін, С.О.Магопець, С.М.Лізунов, В.М.Бобрицький // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузі машинобудуванні". – Вип. 13. – 2003. – С.289-294.

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

107. 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.

108. Аулін В.В. Триботехнічні властивості деяких композиційних покрить / В.В. Аулін // Вісник ХДГУСГ. – Вип.14. "Підвищення надійності відновлених деталей машин". – Харків, 2003. – С.170-174.

109. 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 (ПРТК 2010). Третя міжнар. наук.-практ. конф. 24-26 травня 2010 року, Київ, Україна –К .: НАУ, 2010. – С.143-145.

110. Аулін В.В. Процеси облітерації і самоорганізації мастильних середовищ трибосистем/В.В. Аулін, С.В Лисенко, О.В. Кузик //Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 9-й междун.научн.-техн.конф., 25–29 мая 2009, г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2009. – С.19-23.

111. Аулін В.В. Закономірності взаємодії деталей і робочих органів з ґрунтовим середовищем на основі уточненої моделі грунту / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Материалы V-го междунар. форума молодежи "Молодежь и с/х техника в XXI веке". – Харьков: ХНТУСХ. 2009. – С. 5-6.

112. 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.

113. Аулін В.В. Система підходів до дослідження процесів тертя та зношування конструкційних матеріалів триботехнічного призначення / В.В.Аулін // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Вип. 14. – 2004. – С.211-216.

114. Аулін В.В. Специфіка процесу зношування деталей робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2011", 8-12 червня 2011 – Ялта. – С.32-33.

115. Аулін В.В. Стан питання теорії зносу композиційних матеріалів і покриттів / В.В.Аулін // Вісник Харківського нац. техн. університету сільського господарства ім. Петра Василенка / Вип. 40. Техн. сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків. – 2005.-С.82-87.

116. 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.

117. Аулін В.В. Створення композиційних дисперсно-зміцнених покриттів на

деталях СГТ з використанням лазерного випромінювання / В.В.Аулін // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. – Вип. 33. – Кіровоград, КДТУ. – 2003. – С.310-316.

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

119. Аулін В.В. Структурна схема дослідження характеру зміни ентропії трибосистеми та її елементів / В.В. Аулін, О.П. Бруцький, С.В. Лисенко / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження", "Ольвійський форум 2013: Стратегія країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.58-60.

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

121. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро-поршневій групі ДВЗ/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик//Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХДУ, 2010.-№3- С.46-54.

122. Аулін В.В. Теоретичне обгрунтування зміни шорсткості поверхні деталей після лазерної обробки/ В.В. Аулін, С.М Лізунов// Зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. університету "Техніка в с.г. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Кіровоград: КНТУ, 2007. – Вип. 18. – С.98-104.

123. 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.

124. Аулін В.В. Підвищення довговічності деталей з нанесеними поліамідними склонаповненими композиційними покриттями модифікуванням їх ультразвуковою обробкою / В.В. Аулін, О.П. Бруцький // Збірник тез матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Ольвійський форум - 2012» Секція «Трибологія, енерго- та ресурсозбереження» , 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.78-79.

125. Аулін В.В. Теоретичні основи явища облітерації / В.В.Аулін, Ю.В.Кулєшков, С.О.Магопець // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Вип. 6. – Кіровоград: КДТУ, 2000. – С.87-90.

126. Аулін В.В. Триботехнічне відновлення протягом строку служби дизелів/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко// Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2007. – №2 (44) – С. 60-62.

127. Аулін В.В. Триботехнічні властивості деяких композиційних покриттів / В.В.Аулін // Вісник ХДГУСГ. – Вип. 14. "Підвищення надійності відновлених деталей машин". – Харків, 2003. – С.170-174.

128. Аулін В.В. Узагальнені ознаки здатності матеріалів трибоелементів і робочих середовищ до реалізації процесів самоорганізації / В.В. Аулін / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження", "Ольвійський форум 2013: Стратегія країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.19-21.

129. Аулін В.В. Управление процессом электрохимико-механической приработки деталей сельскохозяйственной и автотракторной техники / В.В. Аулін, Т.М. Замота // Матеріали IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки", вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 221-223.

130. 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.

131. Аулін В.В. Фазові перетворення в композиційних матеріалах триботехнічного

призначення із структурою шпінелі/ В.В. Аулін, М.А. Зіновік, В.О. Дубовик, І.Б. Назар// Зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. університету "Техніка в с.г. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Кіровоград: КНТУ, 2007. – Вип. 18 С.151-157.

132. 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.

133. Аулін В.В. Фізико-хімічні основи взаємодії олив із робочою поверхнею деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження", "Ольвійський форум 2013: Стратегія країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.61-63.

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

135. 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.

136. Аулін В.В. Фізико-хімічні процеси, що відбуваються в композиційній оливі при прирацюванні сполучень деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Матеріали III міжнар. наук.-техн. конф.: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009.-С 65-67.

137. Аулін В.В. Фізичне обґрунтування впливу елементного складу КМ і КП на їх зносостійкість / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батєхін, Д.М. Барановський // Вісник Харківського нац. техн. університету сільського господарства. / Вип. 39. Техн. сервіс АПК, техніка та техн. у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків. – 2005.-С.290-298.

138. Аулін В.В. Фізичні основи діагностики характеру руйнування деталей / В.В.Аулін, О.Ю.Жулай, В.Б.Батєхін, Д.М.Барановський // Вісник Харківського держ. техн. університету сільск. господарства. – Вип. 24. Техн. сервіс АПК, техніка та техн. у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків. – 2004.-С.116-121.

139. Аулін В.В. Фізичні основи еволюції станів трибосистем та процесів самоорганізації їх елементів / В.В. Аулін / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2011", 8-12 червня 2011 – Ялта. – С.14-15.

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

141. 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.

142. Аулін В.В. Характеристика ґрунту як елементу трибосистеми "РОГМ-ґрунт" та реологічне обґрунтування його взаємодії з РОҐМ / В.В. Аулін // Вісник інженерної академії України. – 2013. – №1. – С. 104-109.

143. Ауліна Т.М. Формування зносостійких структур робочих поверхонь деталей сільськогосподарської техніки текстуруванням / Т.М. Ауліна, В.В. Аулін, П.А. Коваленко, С.А. Мартиненко // Зб. наукових праць "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки", Кіровоград: КІСМ, 1997. – С.176-179.

144. Афраймович В.С. Внутренние бифуркации и кризисы аттракторов / Нелинейные волны. Структуры и бифуркации / В.С.Афраймович. – М.: Наука, 1987. – С. 189–213.

145. Ахметшин Т.Ф. Повышение износостойкости и долговечности стрельчатых лап культиваторов: Автореф. канд. техн. наук. – спец. 05.20.03 “Технологии и средства

технического обслуживания в сельском хозяйстве” / Т. Ф. Ахметшин. – НПО ВИСХОМ, М., 1988. – 20 с.

146. Ахромеева Т.С. Структуры и хаос в нелинейных средах / Т.С.Ахромеева и др.. – М.: Физматлит, 2007. – 488 с.

147. Бабаев И.А. Исследование и разработка технологии восстановления деталей порошковыми композиционными покрытиями – Автореф. канд. техн. наук.: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / И.А. Бабаев. – М., 1982. – 17 с.

148. Баблоянц А. Молекулы, динамика и жизнь. Введение в самоорганизацию материи / А.Баблоянц. – М.: Мир, 1990. – 375 с.

149. 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.

150. Базаров И.П. Термодинамика / И.П.Базаров. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.

151. Бакай А.С. Многоликая турбулентность // Новое в синергетике: загадки мира неравновесных структур / А.С.Бакай, Ю.С.Сигов. – М.: Наука, 1996. – С. 10–94.

152. Балабанов В. И. Безразборное восстановление трущихся соединений/ В.И.Балабанов. - М., МГАУ, 1999. – 72 с.

153. Балакшин О.Б. Гармония саморазвития в природе и обществе: Подобие и аналогия / О.Б.Балакшин. – М.: ЛКИ, 2008. – 344 с.

154. Баранов А. В. Метод прогнозирования и способы повышения ресурса изнашивающих подвижных сопряжений деталей машин / А.В. Баранов.: Дис. канд. техн. наук. – Л., 1988. – 174 с.

155. Баранов А.В. Самоорганизация трибосистем при граничном трении металлов / А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич, О.В. Быкова / Ползуновский вестник. – Барнаул: АлтГТУ, – 2009. – №1-2. –С. 155-158.

156. Баранов В.В. Оптимизационные методы последовательных приближений в марковских процессах решение/ В.В.Баранов // Кибернетика. – 1985. – №4. – С. 103-111.

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

158. Баранов В.В. Системная модель процесса управления в условиях противоречивых интересов / В.В.Баранов, А.В.Гогайзель // Тезисы докладов Всесоюзного семинара "Гомеостатика живых и технических систем". – Иркутск: ИПИ, 1987 – С. 143-145.

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

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

161. Башта Т.М. / Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

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

163. Беликов И. А. Повышение долговечности рабочих органов плуга керамическими материалами: Автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.03" Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве"/ И. А. Беликов.- М., 2002. – 18 с.

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

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

166. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: Доктор. дис. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

167. 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.

168. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. –2002.–№ 6. – С. 40-45.

169. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания почворежущих элементов при абразивном изнашивании / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 1985.–№ 6.– С. 15-19.

170. Бершадский Л. И. Структурная термодинамика трибосистем / Л.И.Бершадский. - Киев: О-во "Знание" УССР, 1990. – 30 с.

171. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: ЛУ, 1981. – 172 с.

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

173. Биргер И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М.: Гос. науч.-техн. изд. машиностроительная литература, 1963. – 232 с.

174. Бирюков В.П. Лазерное упрочнение и наплавка поверхностей трения деталей сложной пространственной формы и тел вращения / В.П. Бирюков, А.В. Дозоров, В.Г. Филиппов // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин. Материалы 8-й Междунар. конф. 11 – 14 апреля, Санкт-Петербург. – Часть 2. – 2006. – С. 152–159.

175. Бирюков В.П., Обработка поверхностей трения высокочастотным сканирующим лазерным лучом / В.П. Бирюков // Трение и смазка в машинах и механизмах 2007. – №4. – С. 20-25.

176. Білик А. П. Відновлення поверхонь тертя за допомогою триботехнічних регенеруючих сумішей: дис. канд. тех. наук: спец. 05.02.04 "Тертя і зношування в машинах" / Білик Артем Петрович. – Хмельницький, 2009. – 125 с.

177. Блау П.Д. Модель приработки и других переходных процессов в трении скольжения / П.Д. Блау // Проблемы трения и смазки. Труды американского общества инженеров-механиков. – 1988. – №2. – С. 108-116.

178. Бледных В.В. Совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе математического моделирования технологических процессов: Автореф. дис. .докт. техн. наук.: 05.20.01 "Механизация сельскохозяйственного производства"/ В.В. Бледных. - Л.-Пушкин, 1989. - 37 с.

179. Блум К. Теория матрицы плотности и приложение / К. Блум. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 248 с.

180. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: Автореф. канд. техн. наук: спец. 05.02.04 "Тертя та зношування в машинах"/ В.М. Бобрицький.- К., 2007. – 20 с.

181. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука: Тектология. – 2-х книгах / А.А.Богданов. – М.: 1905–1924. – М.: Экономика, 1989.

182. Божокин С.В. Фракталы и мультифракталы / С.В. Божокин, Д.А.Паршин. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 128 с.

183. Бойко А.И. Упрочнение лезвий, как метод управления их геометрической формой при изнашивании / А.И. Бойко, А.В. Балабуха // Вісник Харківського технічного університету сільськ. господарства. Вип. 4. – Харків: ХДТУСГ, 2000. – С. 49-56.

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

185. Бойко В.Г. Особенности метастабильных состояний при фазовых переходах жидкость-пар / В.Г.Бойко и др. // Успехи физич. наук. – 1991. – Т. 161. – № 2. – С. 77–111.

186. Бондаренко В.П. Триботехнические композиты с высокомодульными наполнителями / В.П. Бондаренко. – К.: Наук. думка, 1987. – 232 с.

187. 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.

188. 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 трибоелектрохимии. – 2005. – С. 36-42.

189. Бородай А.В. О химическом и электрохимическом взаимодействии в аспекте макроскопического движения и трения тел / А.В. Бородай // Изв. вузов. Сев. –Кавк. регион. Техн. науки. Спецвып. – 2004. – С. 115-118.

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

191. Бородич Ф.М. Фрактальная шероховатость в контактных задачах / Ф.М.Бородич, А.Б.Мосолов // Прикл. матем. и механика. – 1992. – Т. 56. – Вып. 2. – С. 786–795.

192. Ботвина Л.Р. Фазовые переходы в процессах разрушения и кристаллизации / Л.Р.Ботвина // Доклады РАН. – 1995. – Т. 340. – № 5. – С. 617–621.

193. 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.

194. Буданов В.Г. О методологии синергетики / В.Г.Буданов // Вопросы философии. – 2006. – № 5. – С. 79–94.

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

196. Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов / В.И. Бутенко – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 264 с.

197. 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.

198. Буше Н.А. Совместимость трущихся поверхностей / Н.А. Буше, В.В. Копытько. – М.: Наука, 1981. – 127 с.

199. Быстрай Г.П. Термодинамика открытых систем / Г.П.Быстрай. – Екатеринбург : УрГУ, 2007. – 312 с.

200. 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.

201. 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.

202. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А.Ф. Вадюнина, З.Л. Корчагина.– М.: Агропромиздат, 1986.– 416 с.

203. Вайнберг М.М., Теория ветвления решений нелинейных уравнений / М.М.Вайнберг, В.А.Треногин. – М. : Наука, 1969. – 527 с.

204. 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.

205. Варавка В.Н. О структурных эффектах в зоне обработки материалов концентрованными потоками энергии / В.Н. Варавка, Ю.М. Добровский, А.В. Шабаринов // Вестник ДГТУ, 2003, Т.3, №4(18). – С.445-450.

206. Вернадский В.И. Новые воззрения на эволюцию как дальнейшее развитие учения Дарвина / В.И. Вернадский. – М.: Кооп. изд. студ., 1929 – С. 4-12.

207. Вильсон А.Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / А.Дж.Вильсон. – М.: Наука, – 1978. - 214 с.

208. Вильсон К. Дж. Ренормализационная группа и критические явления / К.Дж.Вильсон // Успехи физич. наук. – 1983. – Т. 141. – № 2. – С. 193–220.

209. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине: Пер. с

анг. И.В. Соловьева / Н.Винер под ред. Г.Н. Поварова. – 2-е изд. – М.: Сов. радио, 1968. – 326 с.

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

211. 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.

212. 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.

213. 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 Харківського нац. техн. університету сільськ. господарства ім.. Петра Василенка / Вип. 37. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Том 2. – Харків. – 2005.-С.174-178.

214. Віхрова Л.Г. Розробка комп'ютеризованої АСУ процесом зміцнення деталей СГТ індукційним наплавленням/ Л.Г. Віхрова, В.В. Аулін, В.А. Бісюк// Вісник Харківського нац. техн. університету сільськ. господарства. /Вип. 57. Проблеми енерго-забезпечення та енерго-збереження в АПК України. Том 2. – Харків. – 2007.-С.213-219.

215. Владимиров В.Н. Дисклинации в кристаллах / В.Н. Владимиров, А.Е. Романов. – Л.: Наука, 1986. – 224 с.

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

217. Войтов В.А. Принципи конструктивної стійкості вузлів тертя гідромашин проти спрацювання: Монографія. / В.А. Войтов, О.М. Яхно, Ф.Х. Алі Сааб. – К.: 1999. – 192 с.

218. Волошко Н.И. К методике проектирования многослойных лезвий / Н.И. Волошко // Зб. наук. праць Луганського нац. аграрного університету. Луганськ: ЛНАУ, 2006.- №64 (87).- С 85-90.

219. Волошко Н.И. О механизме изнашивания фаски многослойного почворежущего лезвия / Н.И.Волошко // Сборник научных трудов. Харьковский с.-х. институт им. В.В. Докучаева, Харьков, 1968. -115 с.

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

221. Галата Р.А. Снижение потерь в ЦПГ двигателя внутреннего сгорания применением антифрикционных присадок к моторному маслу: Дис. канд. техн. наук: спец. 05.04.02 "Тепловые двигатели" / Р.А. Галата. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 133 с.

222. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) / Д.Н. Гаркунов // Учебник. – 4-е изд. переработано и дополнено. – М.: МСХП, 2001. – 616 с.

223. Гершанский В.Ф. Нелинейный подход в теории микромира / В.Ф.Гершанский // Фракталы и прикладная синергетика. Тр. междун. междисцип. симпозиума ФиПС-03. – М.: МГОУ. – 2003. – С. 268–271.

224. 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.

225. Гетлинг А.В. Конвекция Рэллея-Бенара. Структуры и динамика / А.В.Гетлинг. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 248 с.

226. Гиббс Дж. В. Основные принципы статистической механики / Дж. В. Гиббс. Пер. англ. – М.-Л. ГИТТЛ, 1946 – 204 с.

227. 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.

228. Глаголев К.В. Физическая термодинамика / К.В.Глаголев, А.Н.Морозов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 272 с.

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

230. Гнюсов С.Ф. Электронный луч в формировании неравновесных структур: Монография / С.Ф. Гнюсов, В.Г. Дураков. – Томск: ТПУ, 212. – 115 с.

231. Гогайзель А.В. Информационно-энергетические модели управления работоспособностью АТС / А.В.Гогайзель //Автомобильный транспорт Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2001. – вып. 7-8. – С. 163-165.

232. Гогайзель А.В. Математическая модель снижения потери работоспособности системы смазки двигателя / А.В.Гогайзель // Вестник ХНАДУ. – Харьков: РИО ХНАДУ, 2001. – вып. 15-16. – С. 43-46.

233. Гогайзель А.В. Оперативное управление работоспособностью автотранспортных средств: теория и практика /А.В. Гогайзель, О.П. Кравченко. – Луганск: СНУ, 2000. – 128с.

234. Голубев В.С. Устойчивое развитие: новая парадигма / В.С.Голубев // Вестник Российской Академии Наук, 1997, том 67, №12, С. 1104-1107.

235. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов/ М.Н. Гольдштейн. - М.: Стройиздат. - 1971. – 367 с.

236. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления / Ю.М.Горский. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1998. – 327 с.

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

238. Горячкин В.П. Собрание сочинений/ В.П. Горячкин. Т.1-Т.3, М.: Колос, 1968. - 720 с; 480 с; 360с.

239. Григоров А.Б. Изменение диэлектрической проницаемости дизельных моторных масел в эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, И.С. Наглюк // Автомобильный транспорт. – Х.: ХНАДУ. – 2007. – № 20. – С. 95-97.

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

241. Гуреев А.А. Химмотология / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лашхи. –М.: Химия, 1986. – 215 с.

242. Дайсон Ф. Устойчивость и фазовые переходы / Ф.Дайсон и др. – М.: Мир, 1973. – 373 с.

243. Дамаскин Б.Б. Введение в электрохимическую кинетику / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий. – М.: Высшая школа, 1983. – 400 с.

244. Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике: Элементарное введение / Ю.А.Данилов. – М. : КомКнига, 2006. – 208 с.

245. Делоне Н.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом / Н.Б. Делоне // - М.: Наука, 1989. - 280 с.

246. Джилмор Р. Теория катастроф для учёных и инженеров/ Р . Джилмор. – М. : Мир. 1983. – 273 с.

247. Джиона М. Описание явлений переноса и химической кинетики в неупорядоченных средах /М.Джиона// Теорет. основы химич. технологии, 1995. – Т. 29. – № 4. – С. 412-421.

248. 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, С.Г. Псахье // Физическая мезомеханика, 2011. – Т.11-№4. – С. 15-24.

249. Джус Р.Н. Системно-физический подход к объяснению безызносного трения при использовании ревитализантов /Р.Н.Джус // Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. науч. трудов. Вып. 23. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ ", 2004. – С. 183-186.

250. Диссипативные солитоны / Под. ред. Н. Ахмедиева и А. Анкевича. – М.: Физматлит, 2008. – 502 с.

251. Домрачев Г.А. Роль углерода и метала в самоорганизации системы железо-углерод при различном содержании компонентов /Г.А.Домрачев, А.И.Лазарев, Б.С.Каверин и др.//ФТТ, 2004. – т.46. – вып.10. – С.1901-1915.

252. 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.

253. Дубняков В.Н., Влияние структуры упрочненной CO_2-лазером зоны металла на абразивное изнашивание/ В.Н. Дубняков, О.Л. Кащук // Трение и износ, 1986. – Т. VII. –№1.– С.48-56.

254. Дулесов А.С. Количественная оценка информации в информационных системах / А.С. Дулесов // Современные проблемы науки и образования. – №4. – 2008 – С. 13-16.

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

256. Дьяченко С.С. Физические основы прочности металлов /С.С.Дьяченко, В.Б.Рабухин. – Харьков: Вища школа, 1982. – 200с.

257. Евдокимов В.Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов / В.Д. Евдокимов, Л.П. Клименко, А.Н. Евдокимова // под редакцией В.Д. Евдокимова. – Одесса, Николаев: НГТУ им. Петра Могилы, 2005. – 352 с.

258. Евдокимов Ю.А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю.А. Евдокимов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин. – М.: Наука, 1980. – 228 с.

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

260. Емельяненко А.В. Теория перехода из нематического состояния в смектическое / А.В. Емельяненко // Вестник ЮУрГУ. – Серия "Математика, физика, химия", Выпуск 11. – №22. – 2008. – С. 43-49.

261. Ергучёв Л.А. Магнитные методы и средства неразрушающего контроля деталей железнодорожного подвижного состава: пособие / Л.А. Ергучёв. – Гомель УО "БелГУТ", 2005. – 90 с.

262. Ермолаев Ю.Л. Электронная синергетика /Ю.Л.Ермолаев, А.Л.Санин. – Л.: ЛГУ, 1989. – 215 с.

263. Ершов С.В. Синергетика. Новые направления. Нелинейные волны : Физика и астрофизика /С.В.Ершов и др. – М. : Наука, 1993. – С. 306–319.

264. Жанабаев З.Ж. Информационные критерии степени самоорганизации в турбулентности /З.Ж.Жанабаев, С.М.Мухамедин, А.К.Иманбаева // Изв. вузов, Физика. – 2001. – № 7. – С. 72–77.

265. Желиговский В.А. Экспериментальная теория резания лезвием / В.А. Желиговский // Труды МИМЭСХ. – Вып. 9. – М., 1940. – 27 с.

266. Жоу Д. Расширенная необратимая термодинамика /Д.Жоу, Х.Касас-Баскес, Дж.Лебон. – М. – Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютерных исследований, 2006. – 528 с.

267. Журков С.Н. К вопросу о механизме разрушения твердых тел / С.Н. Журков // Вестник АН СССР т.3 – 1968. – С. 46.

268. Займан Дж. Модели беспорядка: Теоретическая физика однородно неупорядоченных систем / Дж.Займан. – М. : Мир, 1982. – 592 с.

269. Зайцев Р.О. Введение в современную кинетическую теорию: Курс лекций / Р.О.Зайцев. – М. : КомКнига, 2007. – 480 с.

270. Закалов А.В. Масштабно-энергетические закономерности структурной

приспосабливаемости металлов при трении: Дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.В. Закалов. – Киев, 1985. – 264 с.

271. Замота Т.Н. Закономерности приработки деталей различных типов сопряжений / Т.Н. Замота, В.В. Аулин / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2012: Стратегія України в геополітичному просторі", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.69-72.

272. Замота Т.Н. Исследования процессов выделения пузырьков газа в смазывающей среде при приработке и их влияние на изменение режима трения / Т.Н. Замота, В.В. Аулин // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2011. – №1 – С.95-99.

273. Замота Т.Н. Развитие площади пятна контакта при макроприработке поверхностей трения / Т.Н. Замота, В.В. Аулин // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2012. – №1 – С.9-13.

274. Замота Т.Н. Улучшение приработки поверхностей трения / Т.Н. Замота, В.В. Аулин, А.П. Кравченко / Материалы междунар. науч. конф., посвящ. 60-летию автотракторного факультета и 50-летию кафедры "Двигатели внутреннего сгорания": "Двигатели внутреннего сгорания: актуальные проблемы и пути решения", 24-28 октября 2011г. – Минск: БНТУ, 2011. С. 98-104.

275. Замота Т.Н. Улучшение шероховатости прирабатываемых поверхностей деталей (Improvement of roughness at running in surfaces of details) / Т.Н. Замота, В.В. Аулин, А.П. Кравченко / Материалы XVI междунар. научн.-техн. конф. "Транспорт, экология – устойчивое развитие", ЕКО Варна, Болгария, 20-22 мая 2010 г. – С. 607-613.

276. Заславский Г.М. Введение в нелинейную физику. От маятника до хаоса / Г.М.Заславский, Р.З.Сагдеев. – М. : Наука, 1988. – 143 с.

277. Заславский Г.М. Слабый хаос и квазирегулярные структуры / Г.М.Заславский и др. – М.: Наука, 1991. – 240 с.

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

279. Зиновьев А.В. Неравновесное возбуждение электронов металла мощным монохроматическим излучением / А.В. Зиновьев, В.Б. Луговской // ЖТФ. – т.50. – № 8. 1980. – С. 1635 – 1640.

280. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: Учебное пособие / В.А. Зорин. – М.: ООО "Магистр-Пресс", 2005. – 536 с.

281. Иванова В. С. Синергетика и фракталы. Универсальности механического поведения материалов / В.С.Иванова, И. Р.Кузеев, М. М.Закирничная.- Уфа: УГГТУ, 1998. – 363 с.

282. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С.Иванова и др. - М.: Наука, 1994. – 383 с.

283. Иванова В.С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов / В.С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 159 с.

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

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

286. Исаев С.И. Термодинамика /С.И.Исаев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 416 с.

287. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация/ Б.Б.Кадомцев. – М.: Ред. журн. УФН, 1997. – 400 с.

288. Канарчук В.Е. Адаптация материалов к динамическим воздействиям / В.Е.Канарчук. - Киев: Наукова думка, 1986. – 264 с.

289. 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.

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

291. Капов С.П. Основные принципы построения модели разрушения почвенной среды/ С.П. Капов, С.Г. Мударисов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2005.- №6.- С.30-32.

292. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи / Дж.Карери. Пер. с итал. под ред. Халатникова И.М. - М.: Мир, 1985. – 141 с.

293. Каток А.Б. Введение в современную теорию динамических систем / А.Б.Каток, Б.Хассельблат. – М.: Факториал, 1999. – 767 с.; М.: МЦНМО, 2005. – 464 с.

294. Кащеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел/ В.Н. Кащеев. – М.: Наука, 1970. – 247с.

295. Кащеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта /В.Н.Кащеев.– М.: Машиностроение, 1978. – 213с.

296. Кащенко М.П. Волновая модель роста мартенсита при γ-α – преобразованиях в сплаве на основе железа / М.П.Кащенко. – Екатеренбург, 1993. – 224с.

297. 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.

298. Киряков П.П. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений / П.П.Киряков, С.И.Сенашёв С.И., А.Н.Яхно. – Новосибирск : СО РАН, 2001. – 192 с.

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

300. Климонтович Ю.Л. Критерии относительной упорядоченности открытых систем / Ю.Л.Климонтович // Успехи физич. наук. – 1996. – Т. 166. – № 11. – С. 1231–1243.

301. Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем / Ю.Л. Климонтович. – М.: ТОО "Янус", 1995 – 624 с.

302. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса: Новый подход к статистической теории открытых систем / Ю.Л.Климонтович. – М.: Ком. Книга, 2007. – 328 с.

303. Князева Е.Н. Основания синергетики. Синергетическое мировидение / Е.Н.Князева, С.П.Курдюмов. – СПб.: "Алетейя", 2002. – 414 с; – М.: КомКнига, 2005. – 240 с.

304. Ковалёв В.Ф. Ренормгрупповые симметрии для решения краевых задач / В.Ф.Ковалёв, Д.В.Широков// Успехи физич. наук. – 2008. – Т. 178. – № 8. – С. 849–865.

305. 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 композиционные материалы" / А.В. Ковальский. – Киев, 1987. – 189 с.

306. Колесников А. А. Основы теории синергетического управления / А.А.Колесников. – М.: Фирма "Испо-Сервис", 2000. – 264 с.

307. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Механические и электрические системы /А.А.Колесников и др.. – М.: КомКнига, 2006. – 304 с.

308. Колубаев А.В. Эволюция структуры поверхностного слоя металлов в условиях трения скольжения / А.В.Колубаев, С.Ю.Тарасов, О.В.Сизова и др. // Трение и износ. – 2007. – Т. 28. – №6. – С. 582-590.

309. Корольков Б.П. Лекции по самоорганизации систем / Б.П.Корольков. – Иркутск: ИрГУПС, 2008. – 216 с.

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

311. Короновский А.А. Нелинейная динамика в действии /А.А.Короновский, Д.И.Трубецков. – Саратов: Гос. УНЦ "Колледж", 2002. – 324 с.

312. Костецкий Б.И. Классификация видов поверхностного разрушения и общая закономерность трения и изнашивания/ Б. И. Костецкий// Вестник машиностроения, 1984, №11, с. 10-13.

313. Костецкий Б.И. Механические процессы при граничном трении/ Б. И. Костецкий, М.Э. Натансон, Л.И. Бершадский. — М.: "Наука", 1972 - 170 с.

314. Костецкий Б.И. Марковская модель износа и прогнозирования долговечности изнашиваемых деталей / Б.И. Костецкий, В.П. Стрельников, В.Г. Таций // Проблемы трения и изнашивания. – Вып. 10.– К.: Техника, 1976.– С.10-15.

315. 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.

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

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

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

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

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

321. Костецкий Б.И. Динамическое равновесие процессов при трении и износе металлов / Б.И. Костецкий, Л.И. Бершадский // ДАН СССР, 1970. – Т.190. – №6. – С.30-38

322. Кравец И.А. Репаративная регенерация трибосистем / И.А.Кравец. – Т.: Бережанский агротнхн. ин-т, 2003. – 284 с.

323. Кравчик К. Трибологическая идентификация самоорганизации при трении со смазкой: Дис. доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / К. Кравчик. – Ростов-на-Дону, 2000. – 279 с.

324. Кравчик К.О динамических и статических структурах в зоне трения / К. Кравчик // Вестник ДГТУ. 2002. Т.2. №1(11). – С.77-79.

325. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ/ И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. — М.: "Машиностроение", 1977. — 526 с

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

327. Красносельский М.А. Системы с гистерезисом / М.А.Красносельский, А.В.Покровский. – М.: Наука, 1983. – 118 с.

328. Кропивный В.Н. Физико-математическая модель упрочнения поверхности при поверхностном пластическом деформировании /В.Н.Кропивный, В.В.Аулин, И.В.Шепеленко // Вестник нац. техн. университета Украины "КПИ", Машиностроение. 2003. – С. 37-38.

329. Кудряков О.В. Механизм и условия зарождения полос переориентации в лазерно-закаленной стали / О.В. Кудряков, Г.И. Бровер, В.Н Пустовой //Вестник ДГТУ. – 2001. – Т.1 - №3 (9). С.26-33.

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

331. Кужаров А.С. Трибоэлектрохимический мониторинг режимов трения / А.С. Кужаров, В.Э. Бурлакова, С.Б. Булгаревич, К. Кравчик, Е.Е. Акимова // Вестник ДГТУ, 2004, Т.4, №1(19). – С.47-54.

332. Кузнецов П.В. Фрактальная размерность, как характеристика стадий деформации на мезоуровне при циклическом и активном нагружении / П.В.Кузнецов, В.Е.Панин, Ю.Шройбер //Материаловедение.-2000.-№10.-С.23-29.

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

334. Кузьменко А.Г. Контакт, трение и износ смазанных поверхностей: монография / А. Г. Кузьменко, А. В. Дыха. – Хмельницкий: ХНУ, 2007. – 344 с.

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

336. Кузьменко А.Г. Напряжение в контакте: монография / А. Г. Кузьменко. – Хмельницкий: ХНУ, 2008. – 349 с. – (Теоретическая и экспериментальная трибология: в 12 т.; т. 4).

337. Кукоз Ф.И. Трибоэлектрохимия / Ф.И. Кукоз, В.Ф. Кукоз. – Новочеркасск. – 2003. - 399 с.

338. Куксенова Л.И. Методы испытаний на трение и износ / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 152 с.

339. Куранов В.Г. Трибологические эффекты и отказы. / В.Г. Куранов // Трение и смазка в машинах и механизмах. 1(7). - М.: Машиностроение, 2005. С. 19-23.

340. 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.

341. Куранов В.Г. Фрикционная непроводимость слаботочных контактов /В.Г.Куранов.- Саратов: СГТУ. 1996. – 60 с.

342. Курдюмов С.П. Синергетика – теория самоорганизации. Идеи, методы, перспективы / С.П.Курдюмов, Г.Г.Малинецкий. - М.: Знание, сер. "Математика, кибернетика". - 1983. - № 2.- 64 с.

343. Кушнарев А. Новый взгляд на обработку почвы / А.Кушнарев //Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. праць /УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13(27), кн.2.- С.15-29.

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

345. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

346. Ландау Л.Д. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1987. – 452 с.

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

348. Лашхи В.Л. Оценка приработочных свойств обкаточных масел / В.Л. Лашхи, Л.А. Демьянов // Трение и износ. – 1991. – т.12. – №1. – С. 118-123.

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

350. Левит С.М. Повышение износостойкости деталей ЦПГ и снижение расхода масла на угар в автомобильном двигателе: Автореферат дис... канд. техн. наук. / Центр. Н.-И. Автомоб. и автомотор, ин-т. – М, 1988. – 18 с.

351. Лисенко С.В. Підвищення довговічності відремонтованих дизельних двигунів прискореною обкаткою електротрибохімічним методом: Дис. канд. тех. наук: 05.02.04 "Тертя та зношування в машинах" / С.В. Лисенко – Кіровоград, 2006. – 205с.

352. Лисіков Є.М. Підвищення ресурсу трибосполучень технічних систем шляхом впливу електростатичного поля на мастильні матеріали / Є.М. Лисіков // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті: Зб.

наук. праць. Вип.58. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – С.5-10.

353. Лойко Н.А. Конкуренция мод, бистабильность и хаос в кольцевом лазере бегущей волны / Н.А.Лойко // Известия АН СССР. Сер. Физическая. – 1989. – 1095–1100.

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

355. Лоренц Э. Детерминированное непериодическое течение / Э.Лоренц // Странные аттракторы. – М. : Мир, 1981. – С. 88–116.

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

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

358. 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.

359. Любимов Д.Н. Трение и теория относительности: временые аномалии в трибосистемах: Монография / Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов. – Шахты: ФГ БОУ ВПО "ЮРГУС", 2011. – 126 с.

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

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

362. Маркин В.С. Теория возбудимых сред / В.С.Маркин, В.Ф.Пастушенко, Ю.А.Чизмаджев. – М.: Наука, 1981. – 275 с.

363. Мартынов Г.А. Проблема фазовых переходов в статистической механике / Г.А. Мартынов // Успехи физических наук. – 1999. – Т. 169. – № 6. – С. 595–624.

364. Магницкий Н.А. Новые методы хаотической динамики /Н.А.Магницкий, С.В.Сидоров. – М. : УРСС, 2004. – 320 с.

365. Магопець С.О. Вплив лазерної обробки на рівножорсткість корпусу насосу конструктивної схеми НШ-У / С.О. Магопець, В.В. Аулін, О.Й. Мажейка // Вісник Кременчуцького ДПУ: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип.3 (14). – С.150-152.

366. Майнцер К. Сложносистемное мышление / К.Майнцер. – М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. – 464 с.

367. Майофис И.М. Химия диэлектриков / Майофис И.М. – М.: Высшая школа. – 1970. – 320 с.

368. Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика и хаос. Основные понятия: учебное пособие / Г.Г.Малинецкий, А.Б.Потапов. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.

369. Малыгин Г.А. Синергетика мартенситных структур в кристаллах с памятью формы / Г.А. Малыгин // Физика твердого тела. – Т. 42. – вып. 8. – 2000. – С. 1469 – 1473.

370. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б.Мандельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

371. Марков А.А. Изменение работы выхода электрона при трении / А.А. Марков. – / В кн. Электрические явления при трении, резании и смазке твердых тел. - М.: Наука, 1973.- С.28-34.

372. 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.

373. 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.

374. Мельников А.С. О нелинейной стадии спинодального распада в многослойных структурах/ А.С. Мельников и др. // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1996. – Т. 109. –

Вып. 2. – С. 683–688.

375. 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.

376. 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.

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

378. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел / Н.М. Михин. – М.: Наука, 1977. – 222 с.

379. Мишин И.А. Долговечность двигателей – 2–е изд., перераб. и доп./ И.А.Мишин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 288 с.

380. Мишин И.А. Износостойкость деталей автотракторных двигателей / И.А Мишин. – Л.: Машгиз. – 1960 – 140 с.

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

382. Моисеев Н.Н. Пути к созиданию / Н.Н.Моисеев. – М.: "Республика", 1992. – 255 с.

383. Моисеев Н.Н. Современный рационализм / Н.Н.Моисеев. – М.: МГВП КОКС, 1995. – 376 с.

384. Молотков С.Г. Условия развития пластического поворота элемента структуры материала как целого / С.Г. Молотков, В.В. Неверов, А.И. Антоненко // Физ. мезомех. 2003. – Т.6. - №3. – С.29-35.

385. Монин А.С. О когерентных структурах в турбулентных течениях // Этюды о турбулентности / А.С. Монин. – М. : Наука, 1994. – С. 7–17.

386. Московских С.Б. Курс статистической физики и термодинамики: учебник для вузов/ С.Б.Московских. – М.: Академический проект: фонд "Мир", 2005. – 320 с.

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

388. Мур Д. Основы и применение триботехники / Д. Мур. - М.: Мир, 1978. – 476 с.

389. Мусалимов В.М. Динамика фрикционного взаимодействия / В.М. Мусалимов, В.А. Валетов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 191 с.

390. 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.

391. Аулін В.В. Виявлення сукупності елементів ЕСКД, що обмежують надійність автомобіля / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, І.В. Бичовий // Вісник Житомирського державного технологічного університету: Серія: Технічні науки. 2014. № 2 (69). – С. 21-28.

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

393. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы / Ю.И.Неймарк. – М. : Наука, 1978. – 336 с.

394. Нечипорук В.В. Самоорганизация в электротехнических системах / В.В.Нечипорук, И.Л.Эльгурт. – М.: Наука, 1992. – 168 с.

395. Николаев В.А. Научное обоснование и разработка энергозберегающих технических средств обработки почвы: Автореф. докт. техн. наук. – спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского холяйства" / В.А. Николаев – Ярославль, 2011. – 46 с.

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

397. Новиков И.И. О гипотезе масштабной инвариантности в теории критической точки / И.И.Новиков // Теплофизика высоких температур. – 1995. – Т. 33. – № 1. – С. 152–155.

398. Новосельцев В.И. Теоретические основы системного анализа / В.И.Новосельцев и др.. – М.: Мир. – 2006. – 592 с.

399. Новые материалы. Коллектив авторов под научной редакцией Ю.С. Карабасова. – М.: МИБиС, 2002. – 736 с.

400. Обен Ж.-П. Прикладной нелинейный анализ / Ж.-П.Обен, И.Экланд. – М.: Мир, 1988. – 510 с.

401. Оксогоев А.А. Режимы с обострением в самоорганизующихся процессах высокоинтенсивной обработки металлических материалов. /В кн. "Прикладная синергетика, фракталы и компьютерное моделирование"/ А.А.Оксогоев.-Томск: ТГУ.-2002.-С.106-140.

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

403. Олемский А.И. Синергетика сложных систем. Феноменология и статистическая теория / А.И.Олемский. – М.: КРАСАНД, 2009. – 384 с.

404. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня и завтра, часть 2 / А.И.Осипов // Соросовский Общеобразовательный журнал.–1999.–№5.–С.91-97.

405. Осипов А.И. Термодинамика вчера, сегодня и завтра, часть1 / А.И.Осипов // Соросовский Общеобразовательный журнал.–1999.–№4.–С.79-85.

406. Осипов Г.В. Когерентные структуры в связанных цепочках автогенераторов / Г.В.Осипов, М.М.Сущик // Журнал техн. физики. – 1996. – Т. 66. – Вып. 3. – С. 1–11.

407. Основи трибології. Підручник. Антипенко А.М., Бєлас О.М., Войтов В.А. та ін. / За ред. В.А.Войтова. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 342 с.

408. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебник для технических вузов.- 2-е изд. переработ. и доп. / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше, и др.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе.- М.: Машиностроение, 2001.– 664 с.

409. Основы трибоники / В.М. Мударисов, А.А. Сизова, Е.К. Иванов, Н.А. Крылов, А.Л. Ткачев. – С.-Пб.: 2009. – 77 с.

410. Оура К. Введение в физику поверхности / К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин, Н.В. Зотов, М. Катаяма / Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН. – М.: Наука, 2006. – 480 с.

411. Панов А.И. Физические основы механики почвы/ А.И. Панов// Науч.тр. ВИМ.-Т.131.-2000.-С. 46-51.

412. Пат. 23040 Україна, МПК G01R 33/02. Спосіб вимірювання напруженості магнітного поля в локальних ділянках виробів із феромагнітних матеріалів / Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М., Лисенко С.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u200610907; заявл. 16.10.2006; опубл. 10.05.2007; Бюл.№6.

413. Пат. 24282 Україна, МПК G01R 33/02. Пристрій для вимірювання напруженості магнітного поля в локальних ділянках виробів з феромагнітних матеріалів / Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М., Лисенко С.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u200701316; заявл. 08.02.2007; опубл. 25.06.2007; Бюл. № 9.

414. Пат. 25884 Україна, МПК F16S 5/00. Спосіб термічного зміцнення / Аулін В.В., Лізунов С.М., Дубовик В.О., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u200704135; заявл. 16.04.2007; опубл. 27.08.2007; Бюл. № 13.

415. Пат. 26959 Україна, МПК F01M 9/00. Спосіб керування зносом деталей

двигунів внутрішнього згорання в процесі експлуатації / Аулін В.В., Онолов М.В., Бобрицький В.М., Натальїн І.І. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200706472; заявл. 11.06.2007; опубл. 10.10.2007; Бюл. №16.

416. Пат. 26969 Україна, МПК С23С 14/46. Спосіб модифікування поверхонь лазерною обробкою / Аулін В.В., Барановський Д.М., Барановська М.Ю., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200706507; заявл. 11.06.2007; опубл. 10.10.2007; Бюл. №16.

417. Пат. 28298 Україна, МПК В23К 26/02 (2006). Спосіб формування текстур / Аулін В.В., Лізунов С.М., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200704242; заявл. 16.04.2007; опубл. 10.12.2007; Бюл. №11.

418. Пат. 30081 Україна, МПК С21D 1/09 (2006). Спосіб термічної обробки виробів типу вал із сталі і чавуну / Аулін В.В., Лізунов С.М., Бобрицький В.М., Жулай О.Ю. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200711611; заявл. 22.10.2007; опубл. 11.02.2008; Бюл. № 3.

419. Пат. 33420 Україна, МПК А01В 7/00 (2006). Дисковий робочий орган грунтообробних знарядь / Аулін В.В., Зайцев О.Ю., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200800971; заявл. 28.01.2008; опубл. 25.06.2008; Бюл.№ 12.

420. Пат. 41211 Україна, МПК (2009) С10М 101/00. Припрацювальна мастильна композиція / Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В., Жулай О.Ю. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200814424; заявл. 15.12.2008; опубл. 12.05.2009; Бюл. № 9.

421. Пат. 41259 Україна, МПК В23К 11/00 (2009). Спосіб електроконтактного приварювання зносостійких матеріалів / Аулін В.В., Мачок Ю.В., Солових Є.К., Барановський Д.М.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200815140; заявл. 29.12.2008; опубл. 12.05.2009; Бюл. № 9.

422. Пат. 42025 Україна, МПК (2009) F02D 43/04 H01L 29/00. Електронна система керування автомобільним двигуном внутрішнього згоряння / Аулін В.В., Панарін Д.Є., Жулай О.Ю., Голуб Д.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200814102; заявл. 08.12.2008; опубл. 25.06.2009; Бюл. № 12.

423. Пат. 45786 Україна, МПК(2009) F01M 9/00. Спосіб автоматичного керування зносом деталей двигуна внутрішнього згорання / Аулін В.В., Онолов М.В., Кузик О.В., Лисенко С.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200906111; заявл. 15.06.2009; опубл. 25.11.2009; Бюл.№ 22.

424. Пат. 45791 Україна, МПК(2009) F16J 1/00. Спосіб отримання заданої форми та шорсткості внутрішньої поверхні гільзи циліндрів двигунів / Аулін В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В., Кузик О.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200906134; заявл. 15.06.2009; опубл. 25.11.2009; Бюл.№ 22.

425. Аулін В.В. Закономірності контактної взаємодії частинок середовища ґрунту з РОГЗМ, зміцненими композиційними матеріалами та покриттями / В.В. Аулін, А.А. Тихий, С.О. Карпушин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин . – 2014. – Вип. 44. – С.176-185.

426. Пат. 48190 Україна, МПК(2009) В23К 26/00. Спосіб отримання самозагострюваних різальних елементів деталей машин / Аулін В.В., Бобрицький В.М., Тихий А.А., Лисенко С.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200909376; заявл. 11.09.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

427. Пат. 48191 Україна, МПК(2009) G01N 3/56. Лабораторний стенд для випробування робочих органів грунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200909377; заявл. 11.09.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

428. Пат. 48306 Україна, МПК(2009) G01M 13/00, G01N 33/24, E21B 49/00. Лабораторний стенд для випробування робочих органів грунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Бобрицький В.М.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200910224; заявл. 08.10.2009; опубл. 10.03.2010; Бюл.№ 5.

429. Пат. 48637 Україна, МПК (2009) B23K 26/00. Спосіб формування текстур / Аулін В.В., Лізунов С.М., Лисенко С.В., Кузик О.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200910486; заявл. 16.10.2009; опубл. 23.03.2010; Бюл.№ 6.

430. Пат. 48905 Україна, МПК (2009) B23H 9/00, F02B 79/00. Спосіб припрацювання сполучень деталей дизеля / Аулін В.В., Замота Т.М., Кузик О.В., Зорін Р.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200910482; заявл. 16.10.2009; опубл. 12.04.2010; Бюл.№ 7.

431. Пат. 49553 Україна, МПК(2009) G01M 13/00. Лабораторний стенд для випробування робочих органів грунтообробних машин / Аулін В.В., Тихий А.А., Лізунов С.М., Бісюк В.А. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет.. - №u200910485; заявл. 16.10.2009; опубл. 26.04.2010; Бюл.№ 8.

432. Пат. 49555 Україна, МПК (2009) B23H 5/00. Спосіб підвищення задиростійкості трибосполучень деталей циліндро-поршневої групи / Аулін В.В., Лізунов С.М., Лисенко С.В., Кузик О.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200910492; заявл. 16.10.2009; опубл. 26.04.2010; Бюл.№ 8.

433. Пат. 49556 Україна, МПК(2009) B23K 26/00. Спосіб формування регулярного мікрорельєфу / Аулін В.В., Лізунов С.М., Лисенко С.В., Кузик О.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u200910493; заявл. 16.10.2009; опубл. 26.04.2010; Бюл.№ 8.

434. Пат. 65981 Україна, МПК (2011.01) B23K 26/00. Спосіб формування регулярного мікрорельєфу внутрішньої поверхні гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згорання / Аулін В.В., Жулай О.Ю., Труш М.М.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - №u201104423; заявл. 11.04.2011; опубл. 26.12.2011; Бюл.№ 24.

435. Пат. 69657 Україна, МПК (2012) C10M 125/04. Припрацювальна мастильна композиція / Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В., Слонь В.В. та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201112124; заявл. 17.10.2011 ; опубл. 10.05.12, Бюл. № 9.

436. Пат. 69658 Україна, МПК (2012) F01M 7/00 Спосіб керування зносом трибосполучень деталей / Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В., Бобрицький В.М., та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201112126; заявл. 17.10.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл №9.

437. 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., Лисенко С.В., Кузик О.В.,та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201112831; заявл. 01.11.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл №9.

438. Пат. 74249 Україна, МПК (2012) F01M 1/00. Спосіб діагностування трибосполучень двигуна внутрішнього згорання, які працюють в режимі гідродинамічного мащення / Аулін В.В., Бобрицький В.М., Лисенко С.В., Кузик О.В., Слонь В.В., та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201203320; заявл. 20.03.2012; опубл. 25.10.2012, Бюл.№ 20.

439. Пат. 74646 Україна, МПК (2012) F02D 41/00. Електронна система керування автомобільним двигуном внутрішнього згоряння та характеристиками оливи / Аулін В.В., Панарін Д.Є., Бобрицький В.М., Кузик О.В., та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201203313; заявл. 20.03.2012;

опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

440. 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., Карпушин С.О., Лисенко С.В., та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201203531; заявл. 26.03.2012; опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

441. Пат. 74656 Україна, МПК (2012) F01M 1/00. Спосіб зменшення зносу трибосполучень деталей двигуна внутрішнього згорання під час його пуску / Аулін В.В., Слонь В.В., Бобрицький В.М., Лисенко С.В., Кузик О.В., та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201203533; заявл. 26.03.2012; опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

442. Пат. 74659 Україна, МПК (2012) F02M 27/04. Пристрій для обробки речовин в магнітному полі / Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В., Бобрицький В.М., Тихий А.А., та ін.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201203538; заявл. 26.03.2012; опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

443. Пат. 81598 Україна, МПК (2013) C10M 125/04. Припрацювальна мастильна композиція / Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201213907; заявл. 06.12.2012 ; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.

444. Пат. 9496 Україна, МПК 7 B23 H 9/00, F 02 B 79/00. Спосіб припрацювання механізму / Аулін В.В., Лисенко С.В.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №a200500192; заявл. 10.01.2005; опубл. 15.09.2005; Бюл.№ 9.

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

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

447. Плескачевский Ю.М. Самоорганизация поверхностных слоев твердых покрытий при трении / Ю. М. Плескачевский, А. А. Суслов, В. В. Чикунов, Цуан Янь, С. А. Чижик // Сб.науч. работ VII Международный семинар г. Минск 1–3 ноября 2006 г. – Минск НТМ НАНБ, 2006. – С.54-63.

448. Погодаев Л.И. Износостойкость пар трения серый чугун-гальваническое хромовое покрытие при использовании смазочных композиций с различными присадками / Л.И.Погодаев, В.Н.Кузьмин, П.П.Дудко // Трение, износ, смазка. (Электр, ресурс). – www.tribo.ru. – 2000. – Т.2, №3. – С. 17-20.

449. Погодаев Л.И. Материалы. Пары трения ДВС. Смазочные композиции / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко // С–Пб.: Академия транспорта Российской Федерации, 2001. – 304 с.

450. 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.

451. Подкотилов К.Е. К вопросу самозатачивания культиваторных лап с верхним упрочнением твердым сплавом / Сб. "Проектирование рабочих органов уборочных, почвообрабатывающих сельхозмашин, агрегатов для кормопроизводства".– Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1982.–С.58-69

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

453. Полухин П.И. Физические основы пластической деформации / П.И. Полухин, С.С. Горелик, В.К. Воронцов. – М.: Металлургия, 1982. – 584 с.

454. Польцер Г. Основы трения и изнашивания / Г. Польцер, Ф. Майсснер; [пер. с нем.]. М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.

455. Поляков А.А. Трение на основе самоорганизации / А.А.Поляков, Ф.И.Рузанов.

– М.: Наука, 1992. – 135 с.

456. Поляков С.А. Закономерности формирования структуры приповерхносных слоев трибосопряжений в связи с повышением их работоспособности на основе динамической адаптации к условиям эксплуатации: Автореф. докт. техн. наук – спец. 05.15.03 "Материалловедение", 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / С.А. Поляков. – М.: 2011. – 32 с.

457. Попов В.Л. Условия возникновения тепловой неустойчивости при трении / В.Л.Попов, Н.Н.Сошнянина // Изв. высш. учеб. завед. Физика. – 1994. – № 2. – С. 23–27.

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

459. Попов Д.Е. Междисциплинарные связи и синергетика / Д.Е.Попов. – КГПУ, 1996 – 125 с.

460. Поповский А.Ю. Поведение жидкости вблизи поверхности твердого тела / А.Ю. Поповський, В.И. Михайленко, К.С. Шакун // Межвед. научн. сб. "Физика аэродинамических систем". – Одесса "АстроПринт". – Выпуск 45. – 2008. – С 89-96.

461. Поповский А.Ю. Феноменологическая теория граничной фазы на основе представлений о её жидкокристалличности / А.Ю.Поповский // Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. Калинин. - 1983 - С. 97-104.

462. Постников В.С. Исследование структуры поверхностного слоя после лазерного легирования низкоуглеродистых конструкционных сталей / В.С. Постников, М.С. Калашникова, А.А. Баканина // ФиХОМ, 1999 №6. – С.47-51.

463. Потапов А.А. Электронное строение атомов / А.А.Потапов. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2009. – 264 с.

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

465. Преображенский Н.Г. Динамика развития физики неравновесных систем / Н.Г.Преображенский // Единство физики. – Новосибирск: Наука, 1993. – С. 158–174.

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

467. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках / И.Пригожин. – М.: Наука, 1985. – 328 с.

468. Пригожин И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / И.Пригожин, И.Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 420 с.

469. Пригожин И.Р. Введение в термодинамику необратимых процессов / И.Р.Пригожин. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960.

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

471. Принципы самоорганизации. Пер. с англ. под ред. А.Я. Лернера. – М.: Мир, 1966. – 621 с.

472. Прокопцев П.И. Динамика формоизменения режущего элемента при изнашивании: анализ и управление / П.И. Прокопцев // Тракторы и сельхозмашины. – 1997. – № 8. – С. 18-21.

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

474. Прудских В.В. Самоиндуцированная прозрачность в нелинейной двухкомпонентной среде / В.В. Прудских // Журнал техн. физики. – 1994. – т.64. – №2. – С. 137-144.

475. Пуанкаре А. Термодинамика / А.Пуанкаре. – М. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2005. – 332 с.

476. Пустыльник С.Н. Идеи развития в тектологии А. Богданова / С.Н.Пустыльник

//Концепция самоорганизации в исторической ретроспективе. – М.: Наука, 1994. – С. 189–198.

477. Путинцев С.В. Анализ режима трения деталей цилиндро-поршневой группы автомобильного дизеля / С.В. Путинцев // Известия вузов. Машиностроение. – 1999. – № 2–3. – С. 65-68.

478. Путинцев С.В. Механизм потери в поршневых двигателей: специальные главы конструирования, расчете и испытаний / С.В. Путинцев. – М.: МГТУ им. Боумана, 2011. – 288 с.

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

480. Рабинович В.А. О закономерностях термодинамики критических явлений в системе жидкость-газ / В.А.Рабинович, В.В.Сычев, Ю.Е.Шелудяк // Теплофизика высоких температур. – 1995. – Т. 33. – № 3. – С. 296–318.

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

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

483. 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.

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

485. Резибуа П. Классическая кинетическая теория жидкостей и газов / П.Резибуа, М. де Лернер. – М. : Мир, 1980. – 424 с.

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

487. Рейнер М. Реология / М. Рейнер. – Пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 223 с.

488. Ровинский Р.Е. Мощные технологические лазеры / Р.Е. Ровинский. – М.: 2005. – 103 с.

489. Ровинский Р.Е. Синергетика и процессы развития / Р.Е.Ровинский // Вопросы философии. – 2006. – № 2. – С. 162–169.

490. Руденко А.П. Критерии открытых систем, обеспечивающие процессы самоорганизации и прогрессивной эволюции / А.П. Руденко // Синергетика. Тр. семинара "Проблемы открытости сложных эволюционирующих систем". Т. 7, с. 22–35. – М.: МИФИ, 2004.

491. Салмин В.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотранспортных двигателей совершенствованных трибохимических и гидро-термодинамических процессов в смазочных системах: Дис. докт. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / В.В. Салмин. – Саранск, 2003. – 475 с.

492. Сафонов В.В. Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и применения металлосодержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: Автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.20.03. "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / В.В. Сафонов. – Саратов, 1999. – 51 с.

493. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин/ М.М. Севернев. - Л.: Колос, 1972.–288 с.

494. 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.

495. Сироткин В.М. Разработка теории и метода оценки механического воздействия на почву почвообрабатывающих машин и орудий: Автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства"/ В.М. Сироткин.-

Чебоксары, 2001. -42 с.

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

497. Аулін В.В. Аналіз особливостей моделювання процесу різання ґрунту робочими органами ґрунтообробних та землерийних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий, А. Warouma // Матеріали X Міжнар. наук.-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С.151-153.

498. Сканави Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей) / Г.И.Сканави. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 253 с.

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

500. Скрипов В.П. Местабильная жидкость / В.П.Скрипов. – М. : Наука, 1972. – 342 с.

501. 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.

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

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

504. Сорокатый Р.В. Метод трибоэлементов: монография / Р.В. Сорокатый. – Хмельницкий: ХНУ, 2009. – 242 с.

505. Сорокин Г.М. Абразивное изнашивание высокопрочных сталей в различных условиях контактного взаимодействия / Г.М. Сорокин, С.Н. Бобров // Трение и износ. – 1986. – Т.VII. –№4. – С.714-717.

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

507. Сороко Э.М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонии систем / Э.М.Сороко. – М.: КомКнига, 2006. – 264 с.

508. Спирин Е.Н. Повышение эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин путем модифицирования смазочных материалов: Дис. канд. техн. наук: спец. 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемные транспортные машины" / Е.Н. Спирин. – Томск: ТГАСУ, 2006. – 134 с.

509. Стёпин В.С. Саморазвивающиеся системы и постнеклассическая рациональность / В.С.Стёпин // Вопросы философии. – 2003. – № 8. – С. 5–17.

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

511. Стрижов В.В. Методы выбора регрессионных моделей / В.В. Стрижов, Е.А. Крылова. – М.: ВЦ РАН, 2010 – 60 с.

512. Структурная самоорганизация в растворах и на границе раздела фаз / Отв. Ред. А.Ю. Цивадзе. – М.: ЛКИ, 2008. – 544 с.

513. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздалев. – М.: Ком. Книга, 2006. – 592 с.

514. Табачникова Т.И. Перекристализация фазовые и структурные превращения в сталях в неравновесных условиях: Автореф. докт. техн. наук – спец. 05.16.01. "Металловедение и термическая обработка металлов" / Т.И Табачникова. – Екатеринбург, 2008. – 46с.

515. Тарасов С.Ю. Структурные изменения в металлических материалах в условиях адгезионного трения: Автореф докт. техн. наук – спец. 05.02.01. "Материалловедение в машиностроении" / С.Ю. Тарасов. – Томск, 2008. – 36 с.

516. Твердохлебов В.А. Нелинейность как доминанта Природы / В.А.Твердохлебов.

// Российский химический журнал. – 2009. – Т. LIII. – № 6. – С. 3–6.

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

518. Терхунов А.Г. Исследование влияния тепломассопереноса при трении сопряженных деталей в металлоплакирующих смазочных средах / А.Г. Терхунов // Сб. долговечность трущихся деталей машин. – вып 5. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 299-308.

519. Тимошенко С.П. Курс теории упругости/С.П. Тимошенко.– К.: Наукова думка, 1972.– 578 с.

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

521. Томпсон Дж. М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике / М.Т. Дж.Томпсон. – М. : Мир, 1985. – 254 с.

522. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др. под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

523. Триботехника магнитопассивных опор скольжения: монография / А.Н. Болотов, В.Л. Хренов. Тверь: ТГТУ, 2008. – 124с.

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

525. Трофімов І.Л. Підвищення триботехнічних властивостей палив і олив електричним полем / І.Л. Трофімов // Вопросы химии и химических технологий. – 2010. - №3. – С. 132-137.

526. Трошін О.М. Про вплив електромагнітної обробки олив на їх службові характеристики / О.М. Трошін, Р.М. Джус // Радіотехніка, радіолокація, електроніка зв'язок. Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – вип. 2(14), 2007. – С. 89-92.

527. Трубецков Д.И. Введение в теорию самоорганизации открытых систем / Д.И.Трубецков, Е.С.Мчедлова, Л.В.Красичиков. – М.: Физматлит, 2002. – 200 с.

528. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / У.Л. Уилкинсон. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

529. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии / Ю.А.Урманцев. – М.: Мысль, 1974. – 257 с.

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

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

532. Фёдоров В.В. Эргодинамика и синергетика деформируемых тел / В.В.Фёдоров. - ФХММ, 1988.-№1.-С.32-34.

533. Фёдоров В.В. Эргодинамическая концепция разрушения/ В.В.Фёдоров //Проблемы прочности.-1991.-№8.- С. 48-58, №10.- С.31-35.

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

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

536. Федоров С.В. Элементарная трибонаноструктура – механический квант / С.В. Федоров //Известия КГТУ, 2008. – №14. – С. 49-57.

537. Фёрстер Г. О самоорганизующихся системах и их окружении / Г.Фёрстер // Самоорганизующиеся системы. – М.: 1964. – 352 с.

538. Физическая мезомеханика и компьютерное моделирование материалов / Под ред. В.Е. Панина, — Новосибирск: Наука, 1995. Т 1. - 298 с. Т 2. – 320 с.

539. Форстер Д. Гидродинамические флуктуации, нарушенная симметрия и

корреляционные функции / Д.Форстер. – М.: Атомиздат, 1980. – 288 с.

540. Хайкин С.Э. Физические основы механики / С.Э.Хайкин. – СПб.: Изд-во "Лань", 2008. – 768 с.

541. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г.Хакен. – М.: Мир, 1991. – 240 с.

542. Хакен Г. Синергетика / Г.Хакен. – М.: Мир, 1980. – 404 с.

543. Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г.Хакен. – М.: Мир, 1985. – 419 с.

544. Халил Х.К. Нелинейные системы / Х.К.Халил. – М. – Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2009. – 832 с.

545. Харламов Ю.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела / Ю.А.Харламов, М.А.Будагьянс. - Луганск: ВУГУ, 2000.- 624 с.

546. Холпанов Л.П. Самоорганизация и динамический хаос / Л.П.Холпанов // Теор. основы химич. технол. – 1998. – Т. 32. – № 4. – С. 355–368.

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

548. Худяев С.И. Пороговые явления в нелинейных уравнениях / С.И.Худяев. – М.: Физматлит, 2003. – 272 с.

549. Циммерман М.З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин/ М.З. Циммерман. – М.: Машиностроение, 1978.-295 с.

550. Цыганов И.М. Процессы самоорганизации в сильно возбудимых средах: открытый каталог новых структур / И.М.Цыганов // Доклады РАН. – 1996. – Т. 346. – № 6. – С. 825–832.

551. Цыпцын В.И. Повышение долговечности отремонтированных дизелей совершенствованием технологии приработки и применением упрочняющих покрытий: Автореф. докт. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / В.И. Цыпцын – М., 1991. – 36 с.

552. Аулін В.В. Фізичні аспекти взаємодії в системі "РОГМ-грунт" / В.В. Аулін, А.А. Тихий, В.А. Войтов // Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 45, ч. І. – Кір.: КНТУ, 2015.–С.132-142.

553. Аулин В.В. Восстановление деталей сельськохозяйственной техники комбинированными полимерными материалами / В.В. Аулин, Е.К. Солових, А.В. Крылов // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. – Вип.33. – Кіровоград, КДТУ. – 2003. – С.302-309..

554. Аулін В.В. Електричний опір складових порошкового дроту при формуванні покриття / В.В. Аулін, І.Ф. Василенко // Збірних наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". – Вип.11. Кіровоград, 2002. – С.288-292.

555. Аулін В.В. Повышение триботехнических характеристик полимерометаллических покрытий введением углеродных волокон / А.И. Буря, А.В. Крылов, Е.К. Соловых // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2009. – №1 – С.71-74.

556. Аулин В.В. Система трибомоніторингу технічного стану МСГТ – інженерно-технічне рішення її безпеки / В.В. Аулин, Лівіцький О.М. // Вісник інженерної академії України. – 2009. – №2. – С. 224-228.

557. Аулин В.В. Динамика износа режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин при взаимодействии с почвой / В.В. Аулин, А.А. Тихий // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. Vol.18. No.2. – P. 41-48.

558. Аулин В. В. Материалы трибоэлементов с различными уровнями неравновесности и условиями реализации эффекта самоорганизации / В. В. Аулин, А. В. Кузык // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016.

Vol.18. No.2. – P. 75-82.

559. Аулин В. В. Керування триботехнічними властивостями комбінованих полімерометалевих покрить, нанесених на робочу поверхню деталей / В.В. Аулин, Є.К. Солових, О.В. Крилов // Збірник "Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин (ЗНМ - 2003)" Міжнародна науково-технічна конференція – Хмельницький. ТУП, 2003. – С.50-51.

560. Аулин В. В. Лазерное упрочнение деталей сельскохозяйственного машиностроения / В.В. Аулин // Сборник "Проблемы конструирования и технологии производства сельскохозяйственых машин". ч.I., Кировоград, 1991. – С.77-78.

561. Аулін В.В. Лазерне зміцнення деталей сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, Т.М. Ауліна, О.С. Магопець, Н.І. Цепа // Збірник наукових праць "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с/г техніки", Кіровоград: КІСМ, 1997. – С.179-181.

562. Аулін В.В. Розробка технологічного процесу зміцнення деталей лазерним легуванням при відновленні / В.В. Аулін, О.Й. Мажейка // Збірник наукових праць "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с/г техніки", Кіровоград: КІСМ, 1998. – С.43-49.

563. Аулін В.В. Використання імпульсного та безперервного ЛВ для зміцнення різальних частин РОГМ / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Наука виробництву-2004. Зб. наук. праць за матеріалами доповідей XXXVIII наук. конф. студентів, магістрантів та аспірантів.- Кіровоград: КНТУ, 2004.- С. 143-146.

564. Аулін В.В. Реализация процесса самозатачивания РЭ РОГМ лазерными технологиями / В. В. Аулін, В. М. Бобрицький, А. А. Тихий / Матеріали тез І 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 І. – Луганськ: "Елтон-2", 2008. – С. 239 – 243..

565. Аулін В.В. Контактна взаємодія РОГМ з грунтом при врахуванні його реологічних властивостей / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Матеріали ІІІ міжнар. наук. – техн. конф.: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009.-С 72-74

566. Аулін В.В. Керування процесом приготування багатокомпонентної суміши для нанесення КП на деталі машин / В. В. Аулін, Л. Г. Віхрова, В. А. Бісюк, В. М. Бобрицький / Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація". Кіровоград: КНТУ. - 2005р. Вип. 16. - С.266-269.

567. Аулін В.В. Підвищення стійкості проти спрацювання робочих поверхонь деталей нанесенням антифрикційних композиційних покриттів / В.В. Аулін // Шостий міжн. симпозіум укр. інж.-механіків у Львові. – Тези доповідей. – Львів: КінПАТРІ ЛТД. – 2003. – С.155.

568. Аулін В.В. Дослідження поля напружень зміцнених деталей використовуючи геометричне моделювання / В.В. Аулін, О.С. Магопець, Т.М. Ауліна, С.М. Лізунов // Сборник трудов VII международной научно-практической конференции "Современные проблемы геометрического моделирования". – Мелитополь, 2003. – С.73-77.

569. Аулін В.В. Трибофізичне обгрунтування зміни напружено-деформованого стану грунту під час дії РОГМ / В.В. Аулін // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин // Загальнодержавний міжвідомчий науково – технічний збірник - Кіровоград: КНТУ. - 2012р. Вип.42. Частина І – С. 13-20.

570. Черноусько Ф.Л. Методы управления нелинейными механическими системами / Ф.Л.Черноусько, И.М.Ананьевский, С.А.Решмин. – М.: Физматлит, 2006. – 328 с.

571. Чихос Х. Системный анализ в трибонике / Х. Чихос. Пер. с англ. С.А. Харламова. – М.: Мир, 1982. – 352 с.

572. Шабловский О.Н. О тепловом гистерезисе в нелинейных средах / О.Н.Шабловский // Инж-физ. журн. – 1990. – Т. 59. – № 1. – С. 149–155.

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

574. Шевеля В.В. Реология износостойкости и совместимости пар трения / В. В. Шевеля // Трение и износ. – 1993. – Т.14, №1. – С. 48-63.

575. Шелепин Л.А. Вдали от равновесия. Серия: Новое в жизни, науке, технике / Л.А. Шелепин// Физика №8. - М. Знание 1987 – 64 с.

576. Шикула Н.К. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия / Н.К. Шикула, Г.В. Назаренко.– М.: Агропромиздат, 1990.– 319 с.

577. Ширяева С.О. О возникновении неустойчивости заряженной поверхности жидкости / С.О.Ширяева и др. // Журн. технической физики. – 1995. – Т. 65. – № 11. – С. 41–51.

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

579. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы / М.Шредер. – Ижевск: 2001. – 528 с.

580. Шульман З.П. Магнито-реологический эффект / З.П. Шульман, В.И. Кордонский. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 184 с.

581. Шустер Г. Детерминированный хаос / Г.Шустер. – М. : Мир, 1988.

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

583. Эбелинг В. Физика процессов эволюции. Синергетический подход / В.Эбелинг, А.Энгель, Р.Файстель. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.

584. Эйген М. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул / М.Эйген, П.Шустер. – М.: Мир, 1982 – 271 с.

585. Эткин В.А. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии) / В.А.Эткин. – СПб. : Наука, 2008. – 409 с.

586. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе / П.Эткинс. – М.: Мир, 1987 – 224 с.

587. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка / А.Л.Эфрос. – М. : Наука, 1982. – 176 с.

588. Юревич В.А. Бистабильность при когерентном взаимодействии световых импульсов с тонкой нелинейной пленкой / В.А.Юревич, С.М.Чернов // Доклады Акад. наук Беларуси. – 1994. – Т. 38. – № 6. – С. 48–51.

589. Якубов Ф.Я. Энергетика процесса самоорганизации при трении и износе / Ф.Я.Якубов, В.А.Ким // Высокие технологии в машиностроении / Сб. науч. трудов НТУ "ХПИ". – Харьков. – Вып. 1 (4). – 2001.– С. 14-22.

590. Якубов Ф.Я. Синергетика и процессы самоорганизации при трении и изнашивании / Ф.Я. Якубов // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2010. - №5. – С. 122-133.

591. Allender D.W. Landau theory of wall-induced phase nucleation and pretransitional birefringence / D.W.Allender, G.L.Henderson, D.L.Johnson // Physical Review A. - 1980. - V.24, №2. - P.106-109.

592. Arbabi M. Investigation into the lubrication effectiveness of molybdenum disulphide dispersion in a fully formulated oil / M. Arbabi, T. Eyre // Tribology international. – 1986. – №2. – P. 19.

593. Aschby W.R. Principles of self-organizing dynamic systems // J. Gen. Psychol. – 1947. – Vol. 37.

594. Ashby M. The hardening of metals by non-deforming particeles // Metallkunde – №1. – Vol.55. – 1964 p. 39-47.

595. Aulin V. Étude de l'état de contrainte du sol et des organes de travail des machines aratoires et leurs effets sur la résistance a la traction / V. Aulin, Warouma Arifa // Journal of Applied Biosciences (ISSN 1997-5902), Benin, 2013. – V.72. – P. 5883-5891.

596. Aulin V. Improvement of tribotechnical characteristics of the main engine,s pairings at electrochemical.mechanicarlu running-in / V. Aulin, T. Zamota // TEKA, Commission of

Motorization and Power Industry in Agriculture.-Vol. XIII., No.3 – Lublin, 2013.- P.244-251.

597. Aulin V. Selective wear of cuttings elements of working organs of tillage machines with realization of self-sharpening effect / V. Aulin, T. Zamota // TEKA, Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.-Vol. 13., N4 - Lublin-Rzezow, 2013.- P.9-17.

598. Aulin V.V. Research of the tense state of soil and workings organs of tillage machines and their influence on hauling resistance / V.V. Aulin, Warouma Arifa, A.A. Tyhyi / Global Journal of Soil Science Research Vol. 1, No. 1, July 2013, PP: 01-11.

599. 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.

600. Beck C. Termodinamics of Chaotic Systems / C.Beck, F.Schlogl. – Cambridge Universiry Press, 1993. – 270 p.

601. Blau P.J. Friction Science and Technology From concepts to application / Peter J. Blau. – 2nd ed. 2009 by Taylor and Francis Group, CRC. Press – 420 p.

602. Carlson I.M., Langer J.S. // Phys. Rev. A. v.40. – 1989. –P. 6470.

603. Cotton E. A. Chemical applications of group theory. Third edition / E.A.Cotton. – N. Y.: Wiley, 1990. – 461 p.

604. Davis F.A. The effect of friction modifire on piston ring and cylinder bore friction and wear / F.A.Davis, T.S.Eyre // Tribology International. - Vol.23.- 1990. - P. 163-172.

605. Georges J.M. Some surface science aspects of tribology // New Directions in Tribology / Ed. by I. M. Hutchings – Bury, St. Edmunds and London. MEP. – 1997. – P. 67-82.

606. German S. Fox Self-organization during friction. Advanced / Surface-engineered materials and system design / German S. Fox. – Rabinovich, George E. Totten. – 2007 by Taylor and Francis Group, LLC. – 458 p.

607. Haken H. Synergetic computers and cognition: A top-down approach to neural nets / H.Haken. – Berlin : Springer-Verlag. - 1991. – 253p.

608. Handbook of laser materials processing /Ed.J.F.Ready. – Orlando: Laser Institute of America. – Magnolia publ. Inc., - 2001. – 715 p.

609. Jahanmir S., and Beltzer M. " Effect of Additive Molecular Structure on Friction Coefficient and Adsorption". Journal of Tribology, Vol.108, №1, 1986, P. 109-116.

610. Klamecki B.E. Thermodynamic model of friction / B.E.Klamecki // Wear. – 1998. – Vol.63, №2. – P. 113-120.

611. Kobayashi, K. Theory of translational and orientational melting with application of liquid crystals / K. Kobayashi // J. Phys. Soc. Jap. - 1970. - V. 29, №1. - P. 101-105.

612. Kobayashi, K. On the theory of translational and orientational melting with application to liquid crystals / K. Kobayashi // Phys. Lett. - 1970. - V. 31A, № 3. - P. 125-126.

613. Kohonen T. Self-organization and associative memory / T.Kohonen. – Berlin : Springer-Verlag, 1988.

614. Korcek S. Advances in fuel efficiency of engine oils / S.Korcek, J.Sorab, M.Johnson // 13th European Automotive Symposium AGELFI. – Sevilla (Spain), 1998. – 11p.

615. Kouwenhowen J.K. Soil management by shallow mouldboard plougning in the Nitfierlands/ J.K. Kouwenhowen, U.D. Perdok, G.J.M. Oomen //Soil Tillage Res., 2002; Vol. 65,iss.2,-P.125-139.

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

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

618. Ludwigson D. Plastic behaviour of metastabile austenitic stanless steels / D. Ludwigson, I. Berger // Journal iron anel steel institutes. №1. – 1969. – pp. 168-175.

619. Lyakhova E. Ising model of Epitropic liquid crystalline phase / E.Lyakhova // Journal of Molecular Liquids. - 2001. - № 93. - P. 203-206.

620. Maier, W. A simple molecular-statistical theory of the nematic liquid crystalline phase. I. / W. Maier, A. Saupe // Z. Naturforsch. - 1959. - V. 14A, №10. - P. 882-889.

621. Maier, W. A simple molecular-statistical theory of the nematic liquid crystalline phase. II. / W. Maier, A. Saupe // Z. Naturforsch. - 1960. - V. 15A, №4. - P. 287-292.

622. McMillan W.L. Simple molecular model for the smectic A phase of liquid crystals / W.L. McMillan // Phys. Rev. - 1971. - V. A4, №3. - P. 1238-1246.

623. McMillan W.L. Simple molecular theory of the smectic C phase / W.L. McMillan // Phys. Rev. - 1972. - V. A8, № 4. - P. 1921-1929.

624. Mishra R.K. On self-organization. An interdisciplinary search for a unifying principle / R.K.Mishra, D.Maas, E.Zwielein (Eds). – SpringerVerlag, 1994. – 298 p.

625. Polzer G. Reibbeschichten und selektiven Ubertragung, Zwikkau / G. Polzer und andere. 1988. – 88 s.

626. Popovskii A.Yu. Orientational ordering and effect dimerization in wall adjacent liquid layers / A.Yu.Popovskii, A.A.Kuznetsova, V.I.Mikhailenko // Journal of molecular liquids. - 2005. - V.120. - P.127-130.

627. Popovskii A.Yu. Two component model of orientationally ordered wall adjacent liquid layers / A.Yu.Popovskii, A.A.Kuznetsova, V.I.Mikhailenko // Advance in Colloid and Interface Science - 2003.-V.104. - P.285-292.

628. Praca naukowo_badawcza. Laboratoryjne i eksploatacyjne badania teflonowego SLIDER 2000. WSI w Radomiu. Radom. 1993. – 36p.

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

630. Sheng P. Phase transition in surface aligned nematic films / P.Sheng // Physical review letters. 1976.- V.16, №16. - P.1059-1062.

631. Stanley R. A Simplified Friction Model of the Piston Ring Assembly / R. Stanley, D. Taraza, N . Henein // SAE Techn. Pap. Ser. – 1999. – № 0974. – 18p.

632. Suh Y.M. A kinetic study of interface reactions for an organic molybdenum compound as a lubricant additive / Y.M.Suh, S.I.Iang, L.Q.Zheng // Tribology international. – 1990. – Vol. 23, № 6. – P. 438-442.

633. Takahashe T. Flow stress and work hardening of pearlitic steels / T. Takahashe, M.Naguno// Transt Japan institut Metalls. – №2 – 1970. - P.125-137.

634. Theory of translational and orientational melting with application to liquid crystals / K. Kobayashi // Mol. Cryst. Liq. Cryst. - 1971. - V. 13, № 2. - P. 137-148.

635. Thomas T.R. Defining the microtopography of surface in thermal contact / T.R.Thomas. –Wear, 1982. – V.79, №1. – P. 73-82.

636. Tompson J.M.T. Nonlinear Dynamics and Chaos / J.M.T.Tompson, H.B.Stewart. – N.Y. : Wiley, 1986.

637. Two Dimensional Numerical Analysis of Piston Ring Lubrication of an Internal Combustion Engine / Y . Zhang, G. Chen, B. L i // SAE Techn. Pap. Ser. – 1999. – № 1222. – 9p.

Наукове видання

Аулін Віктор Васильович

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ В ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Монографія

Українською мовою

Редактор: Аулін В.В.
Технічний редактор:
Комп'ютерний набір: Лисенко С.В.
Комп'ютерна верстка:

Видавництво ТОВ "КОД"
Свідоцтво державного комітету інформаційної політики
серія ДК № 995 від 24.07.2002 року.
25009, м. Кіровоград, вул. 50 років Жовтня, 7а,
тел./факс (0522)322-326

Друк ПП Лисенко С.В.
25006, м. Кіровоград, вул. Леніна, 31, кв. 4

Здано до набору 16.06.2014 р., підписано до друку 19.06.2014 р.
Формат 60х84 1/16. Ум. друк. лист. Авт. лист. . Обл. видав. лист. .
Друк офсетний. Тираж 300 екз. Зам. № .