

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ САМООРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ НАПРАВЛЕНОГО ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ

Djadjura K. , Yunak A.
Sumy State University, Sumy, Ukraine

EQUIPMENT BASED ON SELF-ORGANISATION PROCESSES OF DIRECTED FORMATION OF DETAIL SURFACE

В роботі розглянуті питання надійності деталей машин, з точки зору ентропії, з урахуванням направленої формування властивостей поверхневого шару деталей в процесі виготовлення та експлуатації. Представлені позитивні особливості використання технологічної спадковості та самоорганізації в процесах виготовлення та експлуатації енергетичного обладнання. Досліджується можливість застосування синергетичний підходу до визначення параметрів надійності. В роботі представлена система направленої формування технічного стану СТС при експлуатації.

Ключові слова: надійність, технологічна спадковість, самоорганізація, механічна обробка, поверхневий шар.

Вступ

Рівень розвитку енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі. Питання енергетичного забезпечення народного господарства України є актуальними упродовж останніх десятиліть і включають програми високотехнологічного оновлення виробництва різних видів енергії, у тому числі освоєння альтернативних джерел. Однією з найважливіших складових якості сучасного енергетичного обладнання, що значною мірою визначає ефективність його функціонування в умовах експлуатації, є надійність. Вдосконалення існуючих конструкцій обладнання найрізноманітнішого призначення безпосередньо пов'язане з використанням нових сучасних матеріалів, які мають комплекс властивостей для реалізації принципово нових рішень на етапі проектування, застосування ресурсозберігаючих технологічних процесів на етапі виготовлення та забезпечення високого рівня працездатності на етапі експлуатації.

Досвід створення та експлуатації складних технічних систем (СТС) [1, 2, 3], до яких належить більшість конструкцій енергетичного обладнання, показує, що проблема комплексної оцінки технологічної спадковості фізико-механічних властивостей деталей, вузлів і виробів в цілому є дуже актуальною для техніко-економічного обґрунтування направленої формування показників надійності. Технологічні рішення, які приймаються на етапі виробництва виробів, як правило, не завжди у повній мірі враховують складні умови їх експлуатації. Вирішення цих питань є важливим для машинобудівних підприємств, коли СТС виготовляють під замовлення і необхідно оперативно приймати рішення щодо експлуатаційних властивостей деталей залежно від матеріалу заготовки і умов формуючого технологічного середовища.

Останнім часом при дослідженні і розробці технологічних процесів все більше уваги приділяється їх самоорганізації [4, 5, 6, 7, 8]. Застосування інструментарію [9], що забезпечує процеси самоорганізації технологічних систем потребує розробки загальної наукової методології упорядкованого функціонування і розвитку їх складових підсистем з урахуванням динамічних, параметричних, економічних та енергетичних процесів, що мають місце для СТС на всьому інтервалі життєвого циклу.

Постановка завдання

Наукові підходи [2, 10, 11], що застосовують для забезпечення якості СТС при конструюванні, технологічній підготовці виробництва, виготовленні та експлуатації засновані на узагальненні результатів спостережень і експериментальних даних, аналізі емпіричних і напівемпіричних моделей [2, 12, 13] з метою виявлення зовнішніх і внутрішніх факторів впливу на параметри технічного стану. Недоліком цих підходів є їх фрагментарний характер та нездатність відображати найбільш спільні механізми спрямованого формування технічного стану СТС. Практично слабо використовується зворотний зв'язок між експлуатаційними

властивостями деталей (зносоустійкість, втомна міцність, корозійна стійкість, контактна міцність та ін.) [2] і технологією виготовлення (технологічна спадковість) при відомих методах і способах механічної обробки різанням [14, 15], що забезпечує їх працездатність [16, 17]. Спрямованість фізико-механічних властивостей матеріалу визначає величину і характер анізотропії, деформаційні характеристики заготовки і експлуатаційні властивості деталей (твердості, шорсткості, залишкової напруги) в певних напрямках, управління технологічними процесами формоутворення [2, 18].

Недоліки підходів і методів синтезу імовірнісних моделей зносу і відмов ґрунтуються на гіпотезі про випадкову природу неконтрольованих впливів. Вони носять усереднений характер по всьому набору даних однотипних технічних систем, що давно знаходяться в експлуатації. Моделювання та ідентифікація процесів, що відбуваються з технічними системами на максимально широкому тимчасовому інтервалі, представляє складну проблему. Способи її вирішення розглянуті в фундаментальних роботах Я.З. Ципкіна, А.Б. Куржанського, Ф.Л. Черноусько, В.М. Кунцевича та інших вчених, які стверджують, що вирішення проблеми управління технічним станом СТС необхідно шукати в області гарантованих результатів [6].

Сучасний етап розвитку теорії надійності характеризується зближенням задач і методів з дослідженнями, що мають фізико-хімічний характер, що належать до суміжних наук, зокрема, до таких, як термодинаміка і теорія міцності. Найбільш загальним апаратом, що характеризується повнотою описування фізико-хімічних процесів, що виникають у виробі, є термодинаміка незворотних процесів. Основні ідеї термодинаміки широко не використовуються в теорії і практиці надійності, хоча вже проводяться дослідження проблем тертя і зносу з урахуванням термодинамічного підходу і створюються основи теорії надійності механічних об'єктів [19]. Загальний закон надійності в математичній теорії формулюється в такий спосіб:

$$P(T) = e^{-\int_0^T \lambda(T) dT}, \quad \int_0^T \lambda(T) dT = -\ln P(T).$$

Права частина рівняння є функції ресурсу виробу $\gamma(T)$, виробленого за час T , і є мірою зменшення запасу надійності [20]. Функція $\gamma(T)$ являє собою (в інформаційному і статистичному значенні) ентропію H стану виробу чи системи, тобто $\gamma(T)$ еквівалентно H .

Відповідно до другого закону термодинаміки функція $\gamma(T)$ є мірою незворотності процесів, що призводять до витрати запасу надійності виробу. Спочатку надійність виробу максимальна, стан системи впорядкований, ентропія близька до нуля, з часом відбувається зниження надійності, втрата впорядкованості і деградація системи.

Інтенсивність відмовлень є міра швидкості зміни ентропії системи. Це є ключовим при аналізі зв'язків між математичною теорією надійності і фізико-хімічними процесами, що відбуваються у виробі. Це твердження стало можливим у зв'язку з появою робіт, що доводять еквівалентність інформаційної і термодинамічної ентропії [19, 21, 22, 23, 24].

На підставі поняття ентропійного критерію руйнування [19] про те, що руйнування елементарного обсягу матеріалу відбувається в той момент часу, коли в ньому нагромадиться деяке граничне значення щільності ентропії, можна записати

$$H(T^*) = H^*_N,$$

де T^* – час до відмовлення виробу; H^*_N – критичне значення ентропії, накопичене системою.

Подальшим розвитком ентропійного критерію руйнування є ентропійний критерій деградації (ЕКД)

$$H^*_N = H_0 + \int_0^{T^*} \sum_{i=0}^{\gamma} \frac{\omega_i(T_1 \bar{G})}{G_i(T)} dT,$$

де H_0 – запас ентропії при $T > 0$, що залежить від передісторії нагромадження ушкоджень; ω_i – функція розсіювання енергії; T^* – час до руйнування виробу; G_i – параметр інтенсивності, спряжений з i -ю складовою виробництва ентропії.

ЕКД є узагальненням ентропійного критерію руйнування, що враховує фізико-хімічні, електричні й інші впливи і процеси нагромадження, що описує ушкодження як суму щільностей ентропії для всіх видів руйнування.

Рівняння, що характеризує процес виникнення відмови, набуде наступного вигляду:

$$H^*_N = \sum_{i=1}^n \Delta H_i^k + \sum_{j=1}^m \Delta H_j^n + \Delta H_e,$$

де ΔH_i^k – збільшення ентропії, пов'язане з внесенням дефектів при створенні виробу; $\sum_{i=1}^n \Delta H_i^k = H_0^k$ –

накопичена ентропія на етапах розробки виробу; Π – кількість етапів розробки; $\sum_{j=1}^m \Delta H_j^n = H_0^n$ – накопичена

ентропія на етапах виробництва виробу; m – число технологічних операцій; ΔH_e – експлуатаційна ентропія; $H_0^N = H_0^k + H_0^n$ – спадкоємна частина ентропії, обумовлена етапами створення виробу.

З урахуванням рівняння балансу ентропії кожна ентропійна складова, крім першої, набуде вигляду

$$\Delta H_i = \Delta_e H_i + \Delta_i H_i,$$

де $\Delta_e H_i$ – внесок навколишнього середовища: режимів і умов технологічних процесів, людського фактора і т.п.; $\Delta_i H_i$ – збільшення ентропії, викликане нерівноважними процесами у середині деталі, вузла, блоку, виробу, у тому числі можливими розладнаннями і розрегулюванням.

Момент виникнення відмови елемента виробу при нагромадженні в ньому критичного значення ентропії:

$$H^*_{N} = -k \ln P(T) + H_0^n,$$

де k – коефіцієнт, що залежить від вибору одиниць виміру.

Технологічна спадковість може бути описана основним законом термодинаміки для простих тіл [25]

$$du = dA + dQ = \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij} + TdH^*_N,$$

де u – щільність внутрішньої енергії; A – робота зовнішніх сил; Q – теплота; σ_{ij} , ε_{ij} – тензори напруження і деформацій; T – температура, пов'язана із зовнішніми джерелами тепла.

Це рівняння використовують як для рівноважних (зворотних) так і нерівноважних (незворотних) процесів. Традиційний підхід до моделювання формування властивостей матеріалів базується на чисельному вирішенні квазілінійної системи рівнянь механіки суцільного середовища. У роботах [26, 27, 28] було показано що рівняння механіки деформованого твердого тіла описують деформаційні процеси в матеріалах і середовищі у повній відповідності з усіма висновками нелінійної динаміки. Нажаль, подібні числові рішення дозволяють отримати недостатньо інформації про можливий вплив технологічної спадковості на різні матеріали під час використання їх за призначенням. Основні фундаментальні висновки синергетики приводять рішення у фазовий простір, а як виглядає фазовий портрет розподіленої нескінченно вимірюваної у фазовому просторі системи технологічного середовища, залишається поки не з'ясованим. Таким чином, від аналізу найзагальніших властивостей еволюції різних нелінійних динамічних систем «класичної» синергетики і базових рівнянь нелінійної динаміки, необхідно переходити до вивчення еволюції технологічних процесів виготовлення та експлуатації, ґрунтуючись на чисельних рішеннях математичної фізики в часткових похідних, що якнайповніше моделюють процеси формоутворення та деградації.

Вирішення проблеми ефективної експлуатації енергетичного обладнання з урахування вимог та умов до СТС, потребує розробки методології самоорганізації процесів направлено формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей на основі системного аналізу еволюції та деградації технічного стану. Нам здається коректним застосування синергетичного підходу до визначення параметрів надійності енергетичного обладнання. Завдання полягає в науково-обґрунтованому виборі основних вагомих параметрів спрямованого формування властивостей деталей енергетичного обладнання і в аргументованому нехтуванні нескінченної сукупності інших параметрів.

Мета

Метою даної роботи є розробка методології моделювання процесів направлено формування технічного стану енергетичного обладнання при їх самоорганізації.

Результати дослідження

Система направлено формування технічного стану СТС при експлуатації може бути представлена



Рис. 1. Відкрита система направлено формування технічного стану виробу

схемою відображеною на рисунку 1. Основними елементами системи є: підсистема формування властивостей заготовки, підсистема виготовлення (механічна обробка) та підсистема експлуатації. Представлена система є відкритою. На неї здійснюється вплив із зовнішнього середовища, енергії, речовини та інформації, в результаті чого реалізується процес перетворення властивостей заготовки в експлуатаційні характеристики деталі. Управляє всіма цими процесами не лінійність. Зворотній зв'язок дозволяє отримати дані про кількісні та якісні параметри процесу технологічного перетворення, також є можливість використання даних технологічного впливу, організувати поточність та безперервність функціонування.

Основні характеристик матеріалу які впливають на експлуатаційні властивості деталі та механічну обробку різанням, а отже на показник надійності обладнання (виробу) наведенні на рисунку 2.

Надійність конструкційного матеріалу не вичерпується міцністю. Зазвичай з підвищенням міцності метал стає більш крихким. Такий метал чутливий до всякого роду концентраторів напруги. Він погано чинить опір ударним навантаженням, руйнуючись крихко, як руйнується кераміка або скло. Щоб матеріал був надійний, він окрім міцності повинний мати ще і достатню пластичність. Надійність матеріалу забезпечується поєднанням достатньої міцності і пластичності. Ці дослідження описані в роботі Іванова Г.П. [29]. Старков В.К. в своїх дослідженнях [14], основними параметрами матеріалу, виділяє міцність, твердість та пластичність.

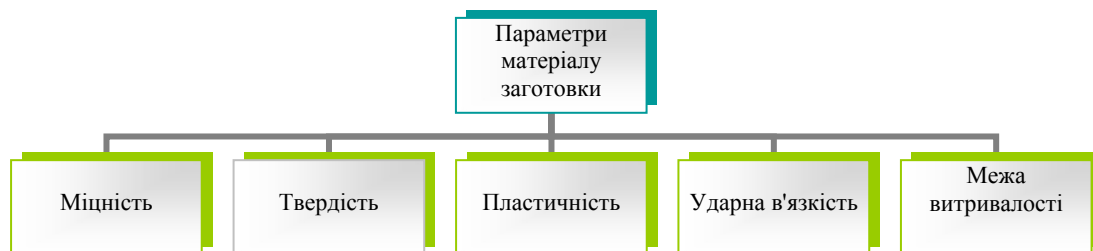


Рис. 2. Підсистеми направлено формування параметрів матеріалу заготовки

Критерієм динамічної надійності метала може слугувати ударна в'язкість. Вона представляє собою роботу руйнування зразка при ударі. Вплив параметру ударної в'язкості на надійність матеріалу описав в своїх роботах Мануєв М.С. [30]. Під дією змінних (циклічних) напруг в металі відбуваються складні процеси втоми. В залежності від величини діючої напруги через деяке число циклів N навантаження може статися руйнування. Для забезпечення заданої довговічності деталі необхідно знати здатність металу чинити опір втоми, яка характеризується так званою межею витривалості. Також на вибір матеріалу значний вплив має хімічний склад та структура матеріалу.

Зв'язок між групами заготовки та деталлю в повному об'ємі не встановлено, за винятком окремих випадків, і являється на сьогодні однією з найважливіших проблем для технологів та матеріалознавців.

Властивості деталі при виготовленні забезпечуються такими виробничими чинниками, як характеристики обладнання і інструменту до яких можна віднести: продуктивність, точність, міцність, жорсткість, вібростійкість, стійкість до теплових впливів, зносостійкість, надійність, характеристики якості, економічні та енергетичні характеристики; фізико-хімічні і механічні властивості матеріалів (заготовок), досконалість технологічного процесу, а також якість обробки і контролю. Якість отриманої після обробки деталі характеризується точністю обробки. Від того, наскільки точно буде витриманий розмір і форма деталі при обробці, залежить правильність сполучення деталей у виробі і, як наслідок, надійність виробу в цілому.

Процес механічної обробки різання можна розглядати як складний фізико-хімічний механізм взаємодії інструменту з оброблюваним матеріалом в умовах розсіювання властивостей усіх складових елементів технологічної системи. Куди входять кінематика процесу різання, пластичні деформації і руйнування в зоні стружкоутворення, також напружений стан заготовки та інструменту, тертя, теплові, хімічні та інші явища, які виникають при контакті з ріжучим інструментом. Структурна схема механічної обробки різанням визначає взаємозв'язок між вхідними та вихідними параметрами процесу різання (рис. 3).

Розробка і побудова структурної схеми дозволяє відображати внутрішні зв'язки механічної обробки. Це дає можливість мати більш повне представлення про сутність процесу обробки різанням, та знаходження взаємозв'язків між окремими параметрами і на основі цього можливість вибору правильного підходу до оптимізації умов обробки. Покращення існуючих структурних схем процесу різання, дасть можливість у знаходженні додаткових зв'язків з іншими складовими підсистем системи направлено формування показників якості виробу при експлуатації.

Представлена структурна схема характеризує взаємозв'язки між вхідними параметрами, які задаються конструктором (оброблюваний матеріал, метод механічної обробки, вимоги до точності та якості обробки), параметрами які вибираються (марка інструментального матеріалу, конструкція та геометрія ріжучого інструменту, схема формоутворення і різання та режим різання і умови обробки), випадкові параметри (тип верстата та пристосування, зміна фізико-механічних властивостей заготовки та інструменту та інші) та вихідні

параметри, які визначають результат виконання механічної обробки (експлуатаційні характеристики деталі). Приведена структурна схема механічної обробки різанням, являється загальною і може змінюватися і доповнюватися по необхідності удосконалення процесу різання та визначення його фізичної сутності.

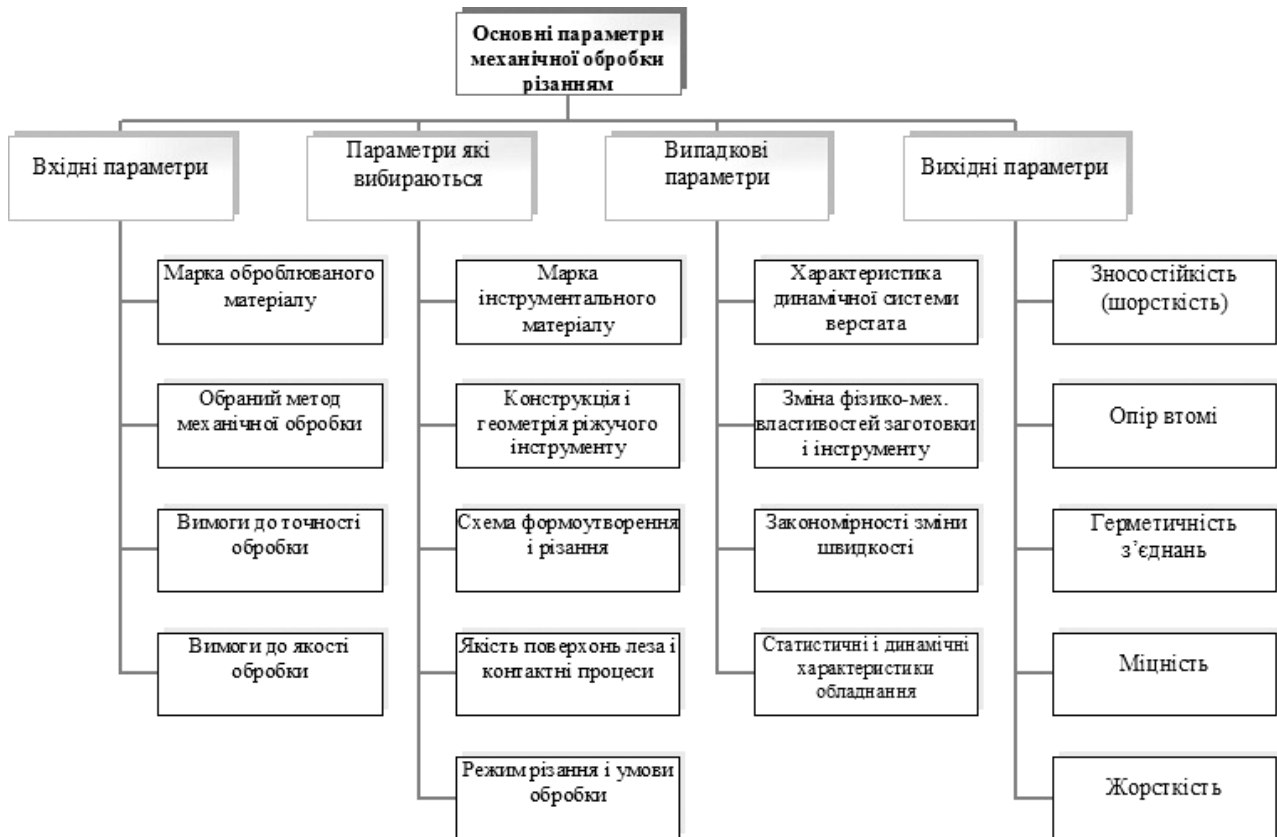


Рис. 3. Структурна схема параметрів механічної обробки різанням

На основі загальної структурної схеми можна побудувати окремі структурні схеми, які розглядають окремі параметри процесу обробки (наприклад: механізм стружкоутворення та інші). Загальна чи окрема структурна схема дає наглядне відображення про сутність процесу механічної обробки різанням, дає можливість постановки завдання дослідження, спрощення математичного моделювання, аналізу та синтезу, необхідних при вивченні.

Експлуатаційні властивості деталей залежать не лише від фізико-механічних характеристик матеріалу, з якого вони виготовлені, але і від стану поверхневого шару. При цьому встановлено, що виготовлення деталей з одного і того ж матеріалу, але за різною технологією і з різними режимами обробки призводить до різкої зміни властивостей поверхневого шару, при цьому довговічність таких деталей різна.

Технологічне забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин нерозривно пов'язане з параметрами стану поверхневого шару деталей, що визначають їх експлуатаційні властивості. Найважливіші експлуатаційні властивості деталей і їх з'єднань - зносостійкість, опір втомі, жорсткість, міцність, герметичність, визначають основний показник якості машин - надійність. Нині є велике число математичних залежностей для визначення експлуатаційних властивостей деталей машин і їх з'єднань, описаних в роботах Крагельського И.В. [2, 12], Міхіна Н.М. [13]. Але ці залежності, як правило, носять емпіричний характер, а теоретичні рівняння не враховують стан поверхневого шару в усіх його геометричних і фізико-механічних аспектах. У роботі Суслєва А.Г. [2] приведені універсальні теоретичні залежності для визначення експлуатаційних властивостей деталей з урахуванням параметрів стану поверхневого шару (шорсткості, хвилястості, макровідхилення і фізико-механічних властивостей). Зносостійкість - експлуатаційна властивість, що визначає здатність поверхневих шарів деталей чинити опір руйнуванню при терті-ковзанні, терті-коченні, а також при мікропереміщеннях, обумовлених дією вібрацій. Втомна міцність - це здатність деталей машин чинити опір руйнуванню впродовж певного проміжку часу при дії на них знакозмінних навантажень. Руйнування деталей машин від втоми металу починається на їх поверхні, визначається шорсткістю і фізико-механічними характеристиками поверхневого шару. Крім того, втомна міцність деталей машин залежить не лише від величини шорсткості, але і більшою мірою від наклепу і залишкової напруги поверхневого шару. Герметичність з'єднань визначає здатність утримувати витік газу або рідини. З'ясовано, що герметичність з'єднань разом з геометрією ущільнення, фізико-механічними властивостями матеріалу і чинниками зовнішньої

дії, також залежить від параметрів шорсткості, хвилястості, макровідхилення і міри зміцнення контактуючих поверхонь. Контактна жорсткість визначає здатність поверхневих шарів деталей, що знаходяться в контакті, чинити опір дії сил, прагнучих їх деформувати. Контактна жорсткість робить значний вплив на точність роботи механізмів, на точність установки деталей на верстатах, в пристосуваннях, на точність обробки і складання деталей, а в результаті - на якість виробів.

На даний момент проведена велика кількість досліджень з питання закономірностей формування поверхневого шару деталей машин.

Виконаний аналіз численних показників надійності, можна відобразити у вигляді основних параметрів підсистеми експлуатації виробу представлений на рисунку 4.



Рис. 4. Структурна схема параметрів експлуатації

Самоорганізація технологічного середовища заключається у визначенні позитивних та негативних властивостей, та можливості виключення негативних з технологічної спадковості та забезпечення новими позитивними властивостями. Взаємодія технологічних об'єктів в процесі виготовлення виробу призводить до організації різними способами СТС, яка розглядається як взаємодія виділеного об'єкту з навколишнім середовищем. Явище самоорганізації описує наука синергетика. Згідно принципу, Бора [7], як тільки зупиняється дія організуючого фактору, може початися самоорганізація під впливом негативного випадкового фактору, правильне функціонування системи зупиняється, що приводить до зниження якості виробу.

Точкою біфуркації для системи забезпечення якості виробу при експлуатації є момент дії зовнішніх організуючих факторів, таких як зміна матеріалу заготовки, марки матеріалу, технологічних властивостей матеріалу, способу отримання заготовки. Внаслідок дії цих чинників, відбувається «лавиноподібна» зміна інформаційних структур усієї системи експлуатації виробу або обладнання.

Схема взаємозв'язків системи забезпечення якості виробу при наведеному формуванні властивостей поверхневого шару деталей представлена на рисунку 5.

Висновки

Підвищення ефективності експлуатації енергетичного обладнання за рахунок направлено формування властивостей поверхневого шару деталей повинно забезпечуватися постійно впродовж виконання технологічних процесів виготовлення матеріалу, заготовок, деталей та виробів в цілому. Крім відомих методів підвищення надійності виробу необхідно користуватися новими, заснованими на більш широкому використанні технологічної спадковості та самоорганізації процесів. Всі фактори, спрямовані на підвищення надійності виробів повинні бути взаємозв'язані між собою і розглядатися, як єдиний комплекс. Для використання явища технологічної спадковості і самоорганізації з більшою ефективністю слід більш ґрунтовно вивчати та досліджувати їх прояви.

Огляд літератури показав, що на сьогоднішній час існує безліч методів розрахунку параметрів стану поверхневого шару. У даній роботі пропонується структурні моделі направлено формування параметрів матеріалу заготовки, параметрів механічної обробки різанням та модель параметрів експлуатації, що дають можливість отримання необхідних зв'язків між параметрами стану поверхневого шару та вхідними і вихідними параметрами процесу експлуатації, які забезпечують максимальну продуктивність або мінімальну собівартість. На базі структурної моделі (рис. 5) в подальшому, пропонується створення математичної моделі у вигляді

функціонально - операційної системи, в якій будуть відображені всі внутрішні зв'язки і математичні залежності між параметрами системи і підсистем направлено формування властивостей поверхневого шару деталей енергетичного обладнання.

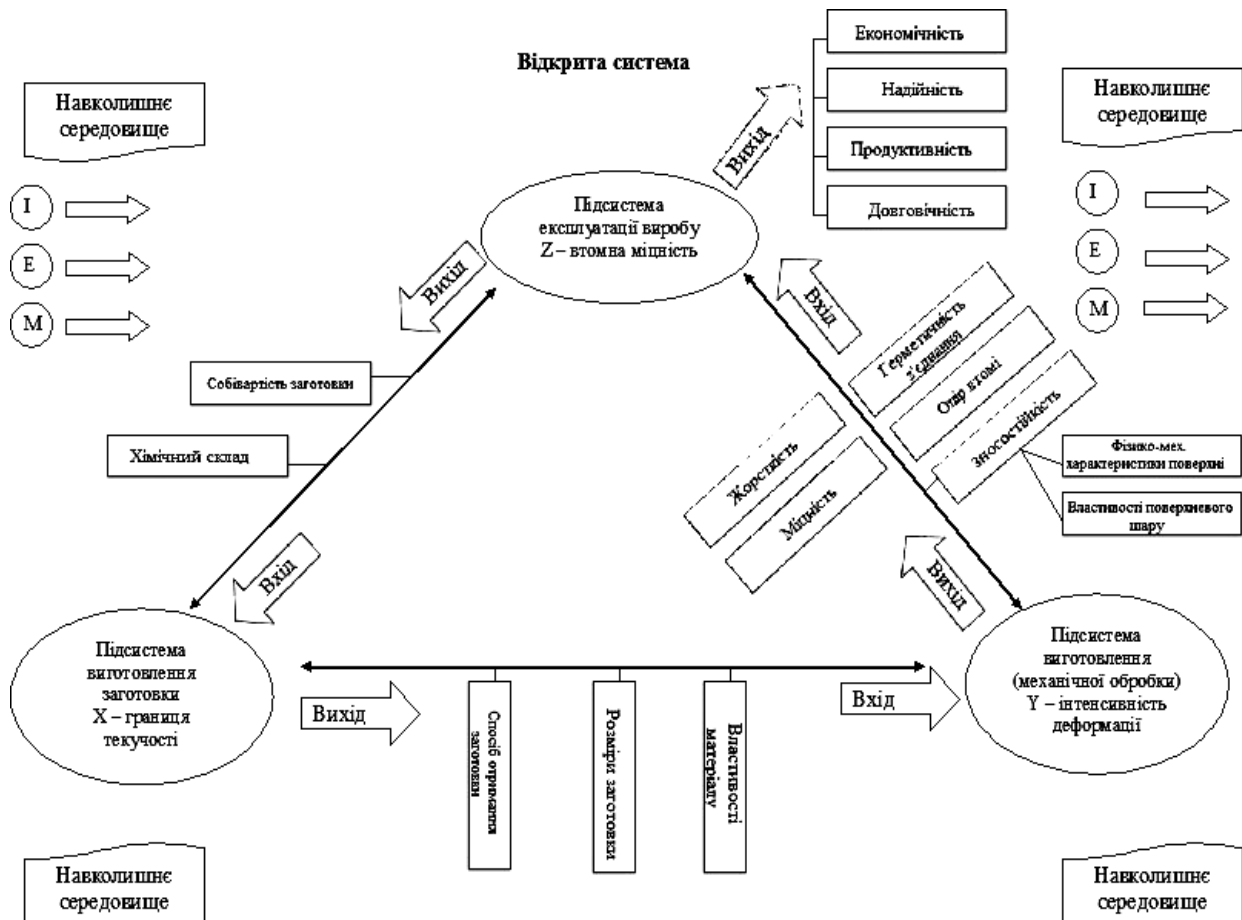


Рис. 5. Схема взаємозв'язків системи забезпечення якості виробу при направлено формуванні властивостей поверхневого шару деталей

Анотація. В роботі розглянуті питання надійності деталей машин, з точки зору ентропії, за рахунок направлено формування своїх властивостей поверхневого шару деталей в процесі виготовлення і експлуатації. Представлені позитивні особливості використання явища технологічної успадкованості і самоорганізації в технологічних процесах виготовлення, обробки і експлуатації енергетичного обладнання. Також досліджується можливість застосування синергетичного підходу до визначення параметрів надійності. В роботі представлена система направлено формування технічного стану СТС при експлуатації.

Ключові слова: надійність, успадкованість, самоорганізація, механічна обробка, поверхневий шар.

Abstract. *Design methodology* for modeling processes directed formation of a technical condition of power equipment in their self-organization.

Methodology. Applies synergic approach to determine the parameters of reliability of power equipment. This approach is scientific and reasonable selection of the main weighty settings directional properties of the formation of details of power equipment and arguments disregard an infinite set of other parameters. Self-organization processes directed formation of physical and mechanical properties of the surface layer of details is considered on the basis of systematic analysis of the evolution and degradation of the technical state. The main elements of the system are: subsystem forming properties of the workpiece, the subsystem manufacturing (machining) and subsystem operation. Presented system is open. To be effected the influence of the environment, energy, matter and information, resulting in the transformation properties is realized piece in performance parts. Manages all these processes non-linearity. Feedback allows calculating metrics quantity and quality parameters of the process of technological transformation, as is the use of information technology impact, organize threading and permanence.

Findings. Is developed structural model directional parameters forming component subsystems of quality products for the directed formation properties of the surface layer of components that allow obtaining the necessary links between the parameters of the surface layer and the input and output parameters of the process operation that provide best performance or minimal cost.

Keywords: reliability, technological heredity, self-organisation, mechanical handling, surface layer.

1. *Проников А.С.* Параметрическая надежность машин. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 560 с.
2. *Суслов А.Г.* Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений / А.Г. Суслов., В.П. Федоров, О.А. Горленко – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.
3. *Васильев А.С.* Направленное формирование свойств изделий машиностроения / Под ред. А.И. Кондакова. – М.: Машиностроение, 2005. – 352 с.
4. *Олемской А.И.* Статистическая теория самоорганизованных сложных систем [Текст] : монография / А.И. Олемской, И.А. Шуда. – Сумы : СумГУ, 2010. – 373 с. – С. 68.
5. *Григорьева Н.С.* Повышение качества изделий при технологической наследственности и самоорганизации процессов / Григорьева Н.С., Божидарник В.В., Шабайкович В.А. // www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Nn/2002_2009/statti/vup20/20-1/23.pdf.
6. *Павлов В.В.* Концепция моделирования и анализа эволюции технического состояния сложных технических систем на максимально возможном интервале их жизненного цикла / В.В., Павлов, В.И. Чепіженко. Кибернетика и вычислительная техника, 2009. – № 157. – С. 3 – 16.
7. *Луцкий С.В.* Компьютерно-интегрированные производства машиностроения с элементами самоорганизации. Високи технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ «ХП». Харьков, 2011, -Вип.42, -С.156-162.
8. *Залогова В.О.* Моделювання синергетичної інтеграції процесів проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівної продукції виробничо-технічного призначення: монографія / В.О.Залогова, К.О. Дядюра, О.В. Ющенко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 278 с.
9. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. – М.Мир. 1991. 240 с.
10. *Болотин В.В.* Прогнозирование ресурса машин и конструкций / Болотин В.В. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
11. *Дерий В.П.* Некоторые результаты прогнозирования ресурса и надежности теплообменных аппаратов ТЭЦ/ Дерий В.П. // Вестн. ИГЭУ. – 2007. – № 4. – С. 6 – 8.
12. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.–480с.
13. *Крагельский И.В.* Основы расчетов на трение и износ. И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. М.: Машиностроение, 1977.– 256 с.
14. *Старков В.К.* Физика и оптимизация резания материалов. М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.
15. *Мазур М.П.* Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищих навчальних закладів] /М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залогова, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; за заг. ред. М.П. Мазур. – Львів: Новий світ, 2000, 2010. – 422 с.
16. *Решетов Д.Н.* Надёжность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев –М.: Высшая школа, 1988. 238 с.
17. *Маталин А. А.* Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / А.А. Маталин. М. – Л.: Машгиз, 1956. – 239 с.
18. *Колесников К.С.* Технологические основы обеспечения качества машин / К.С.Колесников, Г.Ф.Баландин, А.М.Дальский и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
19. *Бершадский Л.И.* Физическая надежность механических объектов. – К.:О-во «Знание» УССР, 1987. – С. 42.
20. *Седякин Н.М.* Об одном физическом принципе теории надёжности. // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1966. – №3. – С. 80 – 87
21. *Волькенштейн М.В.* Энтропия и информация. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
22. *Айламазян А.К.* Информатика и теория развития. А.К. Айламазян, Е.В. Стась. – М.: Наука, 1989. – 174 с.
23. *Эткинс П.* Порядок и беспорядок в природе.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 224 с.
24. *Векслер Э.М., Мартынов Г.К.* Повышение качества и надежности бытовой аппаратуры магнитной записи. – К.: Техника, 1988. – 119 с.
25. *Базаров И.П.* Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.
26. *Макаров П.В.* Подход физической мезомеханики к моделированию процессов деформации и разрушения // Физическая мезомеханика. 1998. Т. 1, № 1. С. 61 – 81.
27. *Макаров П.В.* Эволюционная природа деструкции твердых тел и сред // Физ.мезомех.–2007.–Т. 10.–№ 3.–С. 23–38.
28. *Макаров П.В.* Нагружаемый материал как нелинейная динамическая система. Проблемы моделирования // Физ. мезомех. – 2005. – Т. 8. – № 6. – С. 39 – 56.
29. *Иванов Г.П.* Надежность материала в прочностных расчетах. Г.П. Иванов, А.А. Худошин, Ю.В. Кадушкин, Техкранэнерго, 2002. – 87 с.
30. *Мануев М.С.* Повышение ударной вязкости стали 20ГЛ для отливок деталей железнодорожного транспорта [Текст] / Мануев М.С., Кульбовский И.К. Солдатов В.Г. // Заготовительные производства в машиностроении №6 / М.: – "Машиностроение" 2006 — с. 6–9.

REFERENCES

1. *Pronikov A.S.* Parametricheskaja nadezhnost' mashin [Parametric reliability of machines] Moscow: MGTU im. Baumana, 2002, 560 p.
2. *Suslov A.G., Fedorov V.P., Gorlenko O.A.* Tehnologicheskoe obespechenie i povyshenie jekspluatacionnyh svojstv detalej mashin i ih soedinenij [Technological support and improve operational properties of machine elements and their compounds] Moscow: Mashinostroenie, 2006, 448 p.
3. *Vasil'ev A.S.* Napravlennoe formirovanie svojstv izdelij mashinostroenija [The directional properties of the formation of products of mechanical engineering] Pod red. A.I. Kondakova, Moscow: Mashinostroenie, 2005, 352 p.
4. *Olemskoj A.I., Shuda I.A.* Statisticheskaja teorija samoorganizovannyh slozhnyh sistem [Statistical theory of self-organized complex systems]: monografija, Sumy: SumGU, 2010, pp 68-69.

5. *Grigor'eva N.S.*, Bozhidarnik V.V., Shabajkovich V.A. Increase of Quality Products at Technological Heredity and Self-organization. 2007, Vol. 1, No. 20, available at: www.nbu.gov.ua/portal/natural/Nn/2002_2009/statti/vup20/20-1/23.pdf.
6. *Pavlov V.V.*, Chepizhenko V.I. The concept of modeling and analysis of the evolution of the technical state of complex technical systems in the greatest possible range of their life cycle. *Kibernetika i vychislitel'naja tehnika*, 2009, № 157, pp. 3 – 16.
7. *Luckij S.V.* Computer-integrated manufacturing engineering with elements of self-organization. *Visoki tehnologii v mashinobuduvanni. Zbirnik naukovih prac' NTU «HPI»*. Har'kov, 2011, Vip.42, pp.156-162.
8. *Zaloga V.O.*, Djadjura K.O., Juwenko O.V. Modeljuvannja sinergetichnoї integracii procesiv proektuvannja, vigotovlennja i ekspluatacii mashinobudivnoї produkcii virobnično–tehničnogo priznachennja [Modeling synergetic integration of the design, manufacture and operation of engineering products industrial supplies]: monografija, Sumi: Vid–vo SumDU, 2010, 278 p.
9. *Haken G.* Information and Self-Organization: a macroscopic approach to complex systems, Springer, 3. Auflage 2006
10. *Bolotin V.V.* Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij [Predicting life of machines and structures]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 312 p.
11. *Derij V.P.* Some results of the forecasting service life and reliability of heat exchangers CHP]. *Vestn. IGJeU*, 2007, № 4, pp. 6 – 8.
12. *Kragel'skij I.V.* Trenie i iznos [In Friction and Wear]. Moscow: Mashinostroenie, 1968, 480p.
13. *Kragel'skij I.V.*, Dobychin M.N., Kombalov V.S. Osnovy raschetov na trenie i iznos [Basis of calculations on the Friction and Wear]. Moscow: Mashinostroenie, 1977, 256 p.
14. *Starkov V.K.* Fizika i optimizacija rezanija materialov [Physics and Optimization of Cutting materials] Moscow: Mashinostroenie, 2009, 640 p.
15. *Mazur M.P.*, Vnukov Ju.M., Dobroskok V.L., Jakubov F.Ja. Osnovi teorii rizannja materialiv, [Basic Metal Cutting Theory] pidruchnik, [dlja vivih navchal'nih zakladiv]; za zag. red. M.P. Mazur, L'viv: Novij svit, 2000, 2010, 422 p.
16. *Reshetov D.N.*, Ivanov A.C., Fadeev V.Z. Nadjozhnost' mashin [Reliability of Machines]. Moscow: Vysshaja shkola, 1988, 238 p.
17. *Matalin A. A.* Kachestvo poverhnosti i jekspluatacionnye svojstva detalej mashin [Surface quality and performance of the machine parts]. Moscow: Mashgiz, 1956, 239 p.
18. *Kolesnikov K.S.*, Balandin G.F., Dal'skij A.M. Tehnologicheskie osnovy obespechenija kachestva mashin [The technological basis for ensuring the quality of machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1990, 256 p.
19. *Bershadskij L.I.* Fizicheskaja nadezhnost' mehanicheskikh obektov [Physical Reliability of Mechanical Objects]. Kyiv: O–vo «Znanie» USSR, 1987, pp. 42.
20. *Sedjakin N.M.* On one physical principle in reliability theory. *Izv. AN SSSR. Tehn. kibernetika*. 1966, no.3, pp. 80 – 87/
21. *Vol'kenshtejn M.V.* Jentropija i informacija. [Entropy and Information]. Moscow: Nauka, 1986, 192 p.
22. *Ajlamazjan A.K.*, Stas' E.V. Informatika i teorija razvitija. [Informatics and development of the theory]. Moscow: Nauka, 1989, 174 p.
23. *Jetkins P.* Porjadok i besporjadok v prirode. [Order and Disorder in Nature]. Moscow: Mir, 1987, 224 p.
24. *Veksler Je.M.*, Martynov G.K. Povyshenie kachestva i nadezhnosti bytovoj apparatury magnitnoj zapisi. [Increase Quality and Reliability consumer applications Magnetic Recording]. Kyiv: Tehnika, 1988, 119 p.
25. *Bazarov I.P.* Termodinamika. [Thermodynamics]. Moscow: Vysshaja shkola, 1991, 376 p.
26. *Makarov P.V.* The approach to modeling the Physical Mesomechanics processes of deformation and fracture. *Fizicheskaja mezomehanika*. 1998. T. 1, no. 1. pp. 61 – 81.
27. *Makarov P.V.* Evolutionary nature of destruction of solids and media. *Fiz. mezomeh.* 2007, T. 10, no. 3, pp. 23 – 38.
28. *Makarov P.V.* Loadable material as a nonlinear dynamical system. *Fiz. mezomeh.* 2005, T. 8, no. 6, pp. 39 – 56.
29. *Ivanov G.P.*, Hudoshin, Kadushkin Ju.V. Nadezhnost' materiala v prochnostnyh raschetah. [Reliability of the strength of the material in the calculations] *Tehkranjenergo*, 2002, 87 p.
30. *Manuev M.S.*, Kul'bovskij I.K. Soldatov V.G. Increase of Toughness 20GL steel for Casting details of railway transport. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii №6*, Moscow: Mashinostroenie, 2006 , pp. 6–9.