

Аулін В.В.Кіровоградський національний
технічний університет,
м. Кіровоград, Україна
E-mail: aulin52@mail.ru**ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ
В ТРИБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ**

УДК 621.891:621.001:631.31

В статті обґрунтовано використання таких принципів автоматичного керування процесами в трибосистемах як зворотного зв'язку, компенсації і комбінованого (зворотного зв'язку і компенсації одночасно). Проаналізовані типи зв'язків трибосистем із зовнішнім середовищем, наведені схеми їх автоматичного керування з використанням від'ємного зворотного зв'язку по виходу, по стану, а також по виходу і стану одночасно. Розглянуто приклади реалізації автоматичного керування для трибоспряжень двигуна на основі електронного блоку і електронної системи керування двигуном з використанням технологій триботехнічного відновлення.

Ключові слова: триботехнічна система, автоматичне керування, зворотний від'ємний зв'язок, зовнішнє середовище, моторна олива, двигун, самоорганізація, технологія трибовідновлення.

Вступ

Динамічні процеси в триботехнічних системах (ТС), їх самоорганізація, стійкість і перехід від стаціонарного стану в нестационарний забезпечується різними механізмами саморегулювання [1]. При цьому самоорганізація виступає, як внутрішня властивість ТС автоматичного підтримування на необхідному рівні параметрів протікаючих процесів.

В ТС проявляється деяка ієрархічна організованість, подібна до біологічних систем, яку можна представити деякою кількістю рівнів структурно-функціональної організації. На кожному з таких рівнів існують свої специфічні механізми саморегулювання, які базуються на принципах керування і характеру зв'язку ТС із зовнішнім середовищем [2].

Відкриті ТС постійно обмінюються речовиною, енергією, інформацією із зовнішнім середовищем. Обмін цими ж субстанціями відбувається і між частинами (елементами) ТС. У разі негативної ентropії збільшується упорядкованість і здатність ТС до самоорганізації. В таких умовах складна організація ТС немислима без цілісності, яка означає незведеність її властивостей до сукупності властивостей її елементів. Цілісність породжується структурою системи, типом зв'язку між її елементами.

Питання пов'язані з розробкою теорії автоматичного керування триботехнічних систем, управління їх поведінкою і станом, характером протікаючих процесів на сьогодні не розроблені. Не існує і теорії автоматичного регулювання, яка б враховувала специфічні процеси в триботехнічних системах, незважаючи на те, що загальну теорію автоматичного регулювання в лінеризованих технічних системах розробив російський вчений І.А. Вишнеградський, яка отримала подальший розвиток в працях Н. Вінера, А.А. Андропова, В.М. Глушкова та ін. вчених. Запропоновані ними принципи автоматичного керування на сучасному етапі розвитку техніки потребують перегляду, є потреба і в розробці автоматичного керування ТС, особливо в яких реалізуються процеси самоорганізації, саморегулювання та реновації з використанням технологій триботехнічного відновлення [2].

Мета і постановка задачі

Метою даної роботи є виявлення принципів автоматичного керування процесами в триботехнічних системах, їх можливості та реалізація на конкретних прикладах.

Виклад матеріалів досліджень

Основною функцією керування в ТС є збереження стійкості еволюції розвитку та підтримання заданого режиму їх роботи. Цю функцію можна автоматизувати за допомогою автоматичних регуляторів, дія яких базується на принципах керування процесами [2].

Аналогічно до будь-яких технічних систем, в ТС може бути реалізовано декілька принципів автоматичного керування (АК) поведінкою і станом. Сутність першого принципу полягає в наступному: поява шкідливого ефекту або відхилення керованої величини від заданого значення виявляється, вимірюється і приводиться в дію виконавчими органами, які усувають зазначене. Такий підхід до керування є принципом відхилення або зворотного зв'язку, який набув широкого поширення в техніці [4].

Згідно цього принципу АК відхилення деякого параметру від необхідного рівня приводить до спрацювання функцій, які ліквідують цей дисбаланс, повертаючи даний параметр до потрібного рівня.

Оскільки у випадку від'ємного зворотного зв'язку знак зміни параметру протилежний знаку його початкового відхилення, а при додатному зворотному зв'язку навпаки знак зміни співпадає зі знаком відхилення. В таких умовах ТС виходить з одного стаціонарного стану і переходить в інший стан. Зазначимо, що будь-яка ТС здатна перебувати в різних стаціонарних станах, тому це дозволить їй функціонувати як у визначених співвідношеннях, так і адаптуватися до зовнішнього середовища при відповідних умовах.

Принцип зворотного зв'язку, який, незважаючи уваги на суттєві переваги, внутрішньо має глибокі суперечності: діючи по принципу зворотного зв'язку, перед тим як усунути шкідливий ефект, вимушені припустити його наявність. В той час, слід відмітити засоби по усуненню шкідливого ефекту приводяться в дію лише після того, як цей ефект виявлено.

Другим принципом АК в ТС є принцип випередження або компенсації [2]. Згідно нього необхідно щоб збурення подавалося на автоматичний регулятор миттєво, а на саму ТС – із запізненням. В такій ситуації автоматичний регулятор встигає подати на систему вплив компенсуючий збурення, викликане випадковою зміною умов її функціонування. Зазначимо, що запізнення такого впливу реалізувати технічно важко. Незважаючи на це, принцип компенсації з часом набуває визнання в техніці, трибоспряженнях деталей і системах, в яких наявні процеси тертя і зношування.

Принцип компенсації не володіє недоліком першого принципу, але він вимагає передбачити причини, що породжують шкідливий ефект, і своєчасно привести в дію засоби, які усувають його наслідки.

Технічна реалізація принципу компенсації виявилася можливою на шляху зазначеному Н. Вінером [5], ідея якого полягає в тому щоб здійснити не запізнювання зовнішнього впливу, а передбачення сигналу про нього. Автоматичний регулятор, що діє на основі упередженого значення сигналу, встигає привести в дію засоби, що компенсують наслідки збурення. Н. Вінер зазначив, що передбачення сигналів може бути тільки статистичним. Значний внесок в це питання зроблено М.М. Лузіним [6], який створив основи теорії інваріантності розв'язків диференціальних рівнянь і вказав на можливість компенсації процесів, що протікають в системі в окремих випадках і на причини, чому в інших випадках така компенсація неможлива.

Це обумовлено наявністю розривів у збуреннях зовнішнього середовища та можливістю непередбачених змін в самій системі, що призводить до неможливості встановлення абсолютно тотожної відповідності між параметрами автоматичного регулятора і параметрами системи. Зазначимо, що при цьому мала невідповідність параметрів компенсації може привести до якісної зміни властивостей системи, появи нестійкості її елементів, автоколивань, зменшення стійкості системи до зовнішніх впливів. Явище якісної зміни властивостей системи при малих змінах її параметрів вперше виявлено А.А. Андроновим [7]. Системи, в яких таке явище неможливе, віднесені до класу недосконалих систем.

Враховуючи цей недолік систем компенсації на думку Н. Вінера, найбільш розумним технічним рішенням задач АК може бути знайдено на шляху комбінування методів зворотного зв'язку і компенсації [2]. При цьому не виключається, що системи керування зі зворотним зв'язком і компенсаційні системи конкурують між собою. Переваги того чи іншого методу керування залежать від того наскільки буде усталеними характеристики виконавчого органу. Звичайно, при АК в ТС вигідно поєднувати ці два методи. При тому ж рівні зворотного зв'язку поведінка ТС визначено покращується. Якщо ж виконавчий орган діє із запізненням, то компенсатор повинен бути упередженим, або прогнозуючим пристроєм, розрахованим на статистичний ансамбль вхідних сигналів.

Зрозуміло, що інформативний зворотний зв'язок з компенсатором є лише частковим випадком, загальної теорії АК процесами в ТС. Теорія статистичного передбачення сигналів є важливим кроком на шляху створення нових принципів АК технічними системами, в тому числі і ТС, із врахуванням впливу зовнішнього середовища, структури та специфіки їх поведінки.

ТС із зовнішнім середовищем можуть мати як прямий, так і зворотний, зв'язки. Сутність прямого зв'язку полягає в поданні сигналу без затримки на вхід ТС. Система з прямим зв'язком є відкритою. Якщо при цьому відсутній зворотний зв'язок, то ТС не може змінювати свій стан залежно від вихідного або початкового стану. Зазначимо, що цей зв'язок практично не має відношення до АК процесами в ТС.

Для досягнення необхідної динаміки керованої ТС необхідним є наявність зворотного зв'язку із зовнішнім середовищем, тобто для приведення змінного стану до заданого його значення за деякий проміжок часу. Зворотний зв'язок характеризує змінність станів в ТС і поділяється на два типи: додатний і від'ємний.

Додатний зворотний зв'язок (ДЗЗ) в ТС – це тип зворотного зв'язку, при якому зміна вхідного сигналу системи призводить до такої зміни вихідного сигналу, яка сприяє подальшому його відхиленню від початкового значення. ДЗЗ прискорює реакцію ТС на зміну вхідного сигналу, тому істотна його перевага в ситуаціях, коли вимагається швидка реакція ТС на зміну параметрів зовнішнього середовища. Цей зв'язок призводить до нестійкості ТС і виникнення якісно нових автоколивальних ТС [2]. Нелінійний ДЗЗ приводить до того, що ТС починає розвиватися в режимі із загостренням умов і обставин, тобто в таких ситуаціях спостерігається його самопідсилення. Чим сильніше діє ДЗЗ тим більше ТС отримує підкріплення у вигляді потоків субстанцій, тим ще сильніше вона діє на зовнішнє середовище.

Таким чином, ланцюг ДЗЗ є джерелом зростання, вибуху, руйнування і колапсу в системах. Система з неконтрольованими ДЗЗ в решті-решт руйнується. Ось чому системи з ДЗЗ зустрічаються не так часто. Зазвичай рано чи пізно в розвиток процесів в ТС втручається від'ємний зворотний зв'язок (ВЗЗ). Першим результатом такого втручання є те, що процеси відбуваються в ТС, якщо ДЗЗ розвивається безконтрольно, а другим – зроблені певні заходи для обмеження самопідсилення системою, множення сигналу або його накопичення.

Зниження міри множення сигналу в контурі ДЗЗ, уповільнене його зростання, зазвичай, є більш значуще чутливим станом ТС ніж посилення ВЗЗ, або набагато прийнятніше ніж безконтрольність станів і поведінки ТС. Уповільнене зростання сигналу в системі дає множині ВЗЗ запас часу на реалізацію. Якщо слабкі ВЗЗ намагаються боротися з сильними ДЗЗ, то набагато ефективніше послабляти в цей час самі додатні зворотні зв'язки ТС із зовнішнім середовищем.

Найцікавіша поведінка ТС, яка може з'явитися в результаті швидкого запуску ДЗЗ – це хаос. Це непередбачувана, нерегулярна, але обмежена поведінка ТС трапляється, коли система починає змінюватися набагато швидше, ніж на це можуть відреагувати керуючі пристрої. Реальні ТС можуть ставати хаотичними, якщо значення параметрів, що їх характеризують, зростають або зменшуються занадто швидко. Контроль в них має бути заснований на зниженні інтенсивності ДЗЗ. В таких ситуаціях у звичайних ТС слід шукати більш чутливі стани, в яких система має більше можливостей на розвиток.

Від'ємний зворотний зв'язок (ВЗЗ) – це тип зворотного зв'язку при якому вхідний сигнал ТС змінюється таким чином, щоб протидіяти зміні її вихідного сигналу. Цей сигнал подається назад на вхід, для гасіння частини вхідного сигналу. ДЗЗ сприяє більшій стійкості ТС до випадкових змін параметрів, щоб протидіяти зміні її вихідного сигналу. Методи математичного аналізу систем охоплених ВЗЗ детально розглядаються теорією автоматичного керування (АК) [2].

ВЗЗ широко використовується в системах різної природи, у тому числі і ТС, для підтримки гомостазу, тобто тенденції до саморегулювання і самоорганізації. При цьому зазначимо, що ВЗЗ самокоректується. ВЗЗ використовується для коригування значень регулюючих функцій в ТС. Для коригування АК в ТС з наявними ВЗЗ розрізняють три види цих зворотних зв'язків: по виходу; по стану; комбінованого (по виходу і по стану одночасно). Схеми таких видів ВЗЗ наведено на рис. 1-3.

На приведених схемах відображені відповідні елементи: Y, Y_s – вихідне змінне та задане значення вихідної змінної, або сукупності змінних ТС; K – коефіцієнт підсилення регулятора; U – сигнал керування; $B(t)$ – матриця керування розмірності $n \times l$, елементи якої є функціями часу; n – порядок диференціального рівняння, що описує поведінку (еволюційний розвиток) ТС; X – n -вимірний вектор станів ТС, \square – перша похідна за часовим від вектору станів системи; S^{-1} – оператор інтегрування; E_n – одинична матриця розміру $n \times n$; $A(t)$ – функціональна матриця станів або матриця Фробеніуса розміру $n \times n$, елементи якої є деякими функціями часу; $C(t)$ – матриця спостереження розміру $n \times n$, елементи якої є також функціями часу.

Аналіз реалізації наведених схем для керування процесами в ТС свідчить, що зворотній зв'язок по виходу (рис. 1) можливо застосовувати для ТС, якщо вони є і керованими і спостережуваними повністю. Якщо ТС не є повністю керованою, то доцільно скористатися зворотнім зв'язком за станом (рис. 2). Комбінований зворотній зв'язок (рис. 3) також вимагає повної керованості та спостережуваності.

Якщо ТС не є повністю керованою, то необхідно вносити корективи в її конструкцію, або повну заміну її елементів. При цьому ці зміни обумовлені характером зміни елементів матриць $A(t)$ та $B(t)$.

Перспективним для ТС при їх ефективному функціонуванні із забезпеченням високої зносостійкості і надійності є модальне керування з реалізацією ВЗЗ. Основна ідея модального керування процесами в ТС полягає у забезпеченні необхідної їх поведінки (час регулювання, необхідне значення комплексу параметрів стану і т.п.) шляхом вибору відповідних власних значень і забезпечення стійкості і належного функціонування або спостереження в них за процесами і станом. При реалізації модального керування в ТС виникають деякі проблеми: власні значення параметрів ТС не знаходяться в однозначній відповідності з характером перехідних процесів; їх вибір ускладнений особливо для ТС високого порядку; власні значення параметрів не визначаються амплітудами керованих сигналів та ін.

Аналіз системи АК свідчить, що модальне керування ТС можна реалізувати у випадку числових, а не функціональних матриць A, B, C, D . Отже, при стаціонарному функціонуванні ТС можливе модальне керування, а при нестаціонарному – ні, через наявність елементів у матрицях A, B, C, D , що є функціями від часу.

Таким чином, системою АК передбачено вирішення завдань стеження за процесами і керування ними в ТС без безпосередньої участі людини. Завдання керування ТС полягає в забезпеченні бажаної зміни стану і досягнення бажаної динаміки її поведінки. Це стає можливим при використанні процесу регулювання.

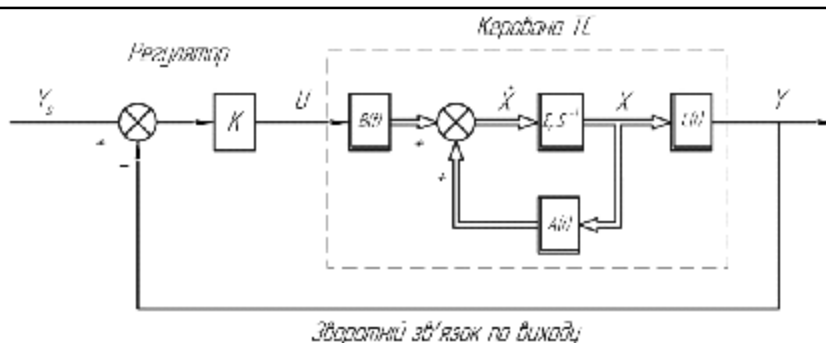


Рис. 1 – Схема АК процесами в ТС з використанням від'ємного зворотного зв'язку по виходу

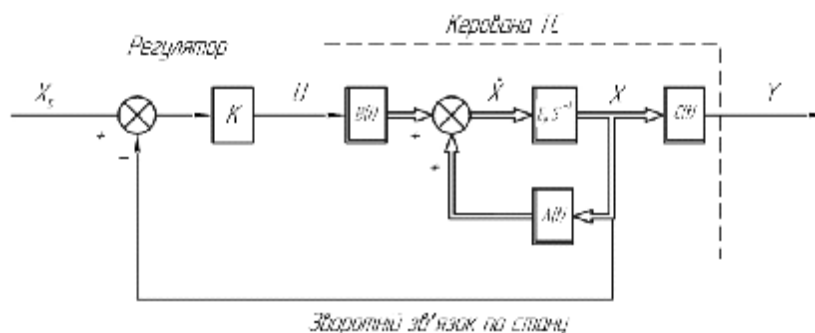


Рис. 2 – Схема АК процесами в ТС з використанням від'ємного зворотного зв'язку по стану

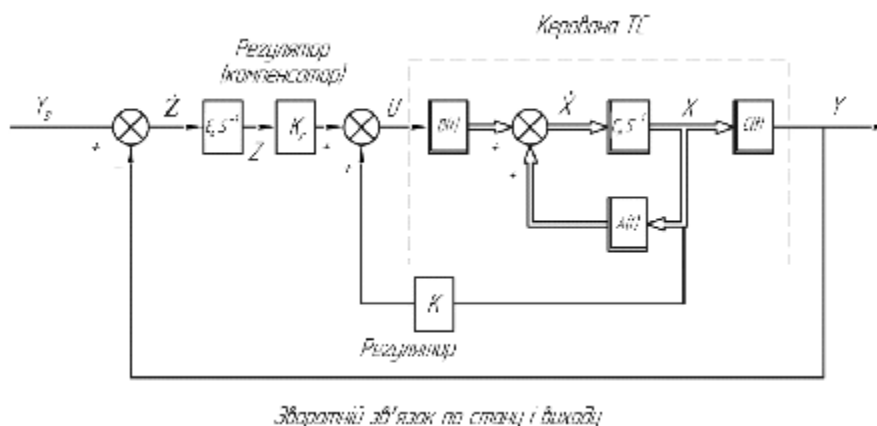


Рис. 3 – Схема АК процесами в ТС з використанням від'ємного зворотного зв'язку по стану і виходу

Показниками якості АК стану і поведінки ТС є: тривалість перехідних процесів, перерегулювання і статична похибка. При проектуванні АК в ТС можна використати алгоритми при виявленні початкових параметрів: керована система → модель ТС → модель стану і поведінки ТС; вимоги до АК → показник якості → час переходу, передумови, статичні похибки; система обмежень → межі змінних стану ТС.

Основними етапами при розв'язку трибологічних завдань є вибір структури (вид зворотного зв'язку) в ТС; синтез регулятора або вибір регулятора та характеру методів відновлення параметрів стану і поведінки ТС; аналіз АК в ТС та його реалізованості.

В якості прикладу розглянемо реалізацію системи АК в технічних системах, що мають трибоспряження.

При використанні триботехнічних технологій відновлення (ТТВ) в процесі експлуатації трибоспряжень деталей встановлюється режим "безносного тертя", а зношування відбувається не через злам або зім'ята виступів нерівностей поверхонь тертя, а через створення і руйнування вторинних структур [4]. Навчитися керувати цими процесами - одне з основних завдань проблеми підвищення зносостійкості і надійності машин. ТТВ дають можливість досягти підвищення ресурсу машин на основі фізичного ефекту безносності і реалізації процесу самоорганізації за рахунок стабілізації технічного стану трибоспряжень [4, 8].

Схема моделі трибоспряження з реалізацією процесу самоорганізації приведена на рис. 4.

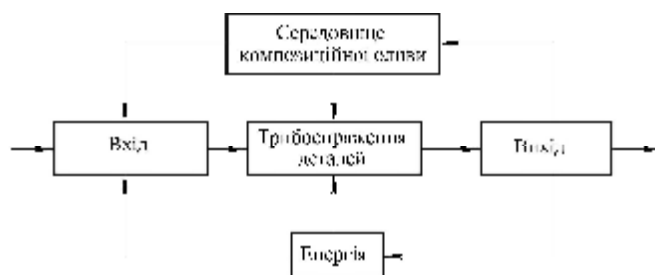


Рис. 4 – Структурна схема моделі реалізації процесу самоорганізації

На вхід трибоспряження подаються іони металів з композиційного мастильного середовища, яке знаходиться в зоні контакту, або поза нею. За допомогою електричного, магнітного, або електромагнітного полів іони прискорюються і спрямовуються для відновлення на зношені частини робочої поверхні деталей. Інформацію про стан системи отримують за допомогою датчиків, сигнали з яких керують кількістю енергії, необхідної для роботи трибоспряження, зміни умов його функціонування, визначення кількості речовини, яка подається на вхід.

Реалізація процесів самоорганізації при використанні ТТВ дозволяє отримати інтенсивність зношування на декілька порядків меншу від інтенсивності зношування в умовах їх відсутності. В результаті оптимізації процесів в ТС визначальні чинники (щільність і сили струму, напруги, швидкості відносного переміщення, тиски в контакті) набувають таких значень, при яких зносостійкість збільшується на декілька порядків, що дозволяє зробити висновок про можливість реалізації ефекту беззносності на етапі припрацювання і в процесі експлуатації.

Автором разом з колективом співробітників запропоновано спосіб керування зносом деталей ДВЗ в процесі експлуатації, яка включає введення в моторну оливу присадки, при компенсації зносу присадка подається в систему мащення двигуна за допомогою пристрою дозатора, керування яким здійснюється електронним блоком керування (ЕБК) (рис. 5) на основі сигналів з датчика температури оливи, тиску в камері згорання і якісного складу газів у картері [9].

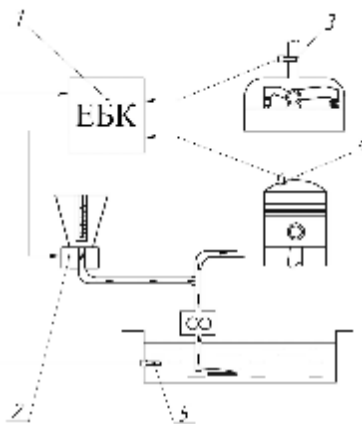


Рис. 5 – Схема способу автоматичного керування зносом деталей ДВЗ в процесі експлуатації:

- 1 – електронний блок керування;
- 2 – пристрій дозатора для подання присадки в оливну магістраль;
- 3 – датчик якісного складу газів картерів;
- 4 – датчик тиску в камері згорання;
- 5 – датчик температури оливи

Реалізація способу АК процесом зношування деталей ДВЗ здійснюється наступним чином. У камері згорання монтують датчик тиску. У систему вентиляції газів картерів встановлюють датчик якісного складу газів в картері. У картер двигуна встановлюють датчик температури оливи. До оливної магістралі під'єднують пристрій дозатора для подання присадки в оливу. Виводи відмічених датчиків сполучають з ЕБК. При нагріванні моторної оливи в двигуні до температур більших 85 °С датчик температури оливи дає команду ЕБК, який починає зчитувати показники інших датчиків.

При близьких до граничних значеннях тиску в камері згорання і якісного складу картерних газів ЕБК дає керуючий сигнал пристрою дозатора для подання певної разової дози присадки в головну оливну магістраль. При попаданні присадки в оливу на поверхнях трибоспряжень деталей утворюються по-

криття, які компенсують їх знос. Наступне зчитування інформації з датчиків відбувається через певний час, необхідний для створення цих покриттів. Якщо параметри датчиків після внесення присадки відповідають нормі, ЕБК переходить в режим стеження за параметрами датчиків. При зниженні температури оливи (при зупинці двигуна) ЕБК вимикається.

Використання цього способу дозволяє: ефективно підвищити довговічність деталей ДВЗ; керувати процесами зносу деталей ДВЗ, їх автокомпенсацією; підвищити компресію в циліндрах двигуна до рівня 90 %; понизити вміст шкідливих викидів у відпрацьованих газах (окису вуглецю, вуглеводню, сажі) в 2 рази; зменшити споживання паливно-мастильних матеріалів на 20 %; досягти підвищення ресурсу машин на основі фізичного ефекту беззносності за рахунок стабілізації технічного стану трибоспряжень.

ЕБК двигуна, система датчиків та система виконавчих пристроїв [2] складають електронну систему керування двигуном (ЕСКД). Загальним недоліком відомих конструкцій ЕСКД полягає в тому, що при їх застосуванні на автомобілях неможливо контролювати стан оливи та її характеристики для забезпечення максимальної ефективності роботи системи мащення, а отже зносостійкість основних спряжень ДВЗ, а також за необхідності змінювати їх в процесі експлуатації.

Покращити експлуатаційні характеристики оливи, а отже і експлуатаційної надійності двигуна в цілому та подовження міжсервісних пробігів транспортних засобів можна інтегруючи в електронний блок керування двигуном блок аналізу характеристик оливи з можливістю його взаємодії з системою датчиків для визначення характеристик оливи та електромагнітним активатором присадки (рис. 6) [10].

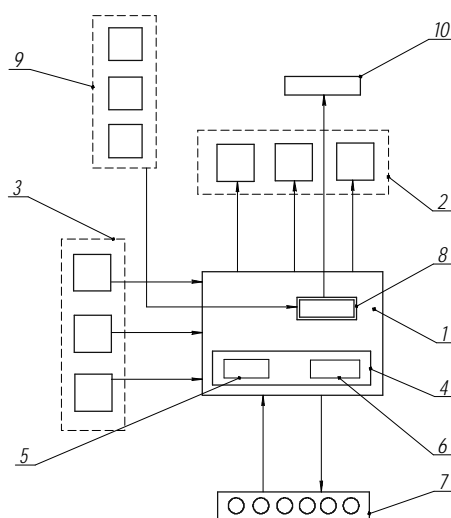


Рис. 6 – Електронна система керування автомобільним двигуном внутрішнього згоряння та характеристиками оливи

На схемі ЕСКД подано наступні елементи: 1 – електронний блок керування; 2 – система виконавчих пристроїв; 3 – система датчиків параметрів роботи двигуна; 4 – блок керування режимами; 5 – постійний запам'ятовуючий пристрій; 6 – блок системи аналізу і збереження параметрів; 7 – інтерфейсний пульт керування; 8 – блок аналізу характеристик оливи; 9 – система датчиків для визначення характеристик оливи; 10 – електромагнітний активатор присадок.

ЕСКД та характеристиками оливи працює наступним чином. Попередньо, при плановій заміні оливи під час технічного обслуговування транспортних засобів, до системи мащення додається присадка. При цьому композиційна моторна олива набуває додаткових корисних характеристик під впливом електромагнітного поля. В блоці системи аналізу і збереження параметрів ЕБК зберігаються дані про еталонні характеристики оливи. В процесі експлуатації автомобіля вони постійно порівнюються з даними, що надходять від датчиків для визначення характеристик оливи, які встановлені в системі мащення двигуна, до блоку аналізу характеристик оливи. Якщо блок аналізу характеристик оливи виявляє відхилення характеристик оливи від еталонних, або ж за допомогою системи датчиків параметрів роботи двигуна в інших вузлах та системах двигуна, виявлено відхилення в його роботі, що пов'язані зі зміною характеристик оливи, наприклад, зниження тиску оливи в системі мащення, та ЕБК передає на інтерфейсний пульт керування відповідний сигнал. Водій з інтерфейсного пульта керування передає до блоку керування режимами команду про необхідність переведення двигуна на режим роботи, характерний для активації присадки, який зберігається в пам'яті постійного запам'ятовуючого пристрою. Сигнал з постійного запам'ятовуючого пристрою надходить до ЕБК і за допомогою виконавчих пристроїв двигун переходить в режим активації присадки. Цей режим полягає в певній тривалості роботи двигуна на конкретній або змінній частоті обертання колінчастого вала, що залежить від вимог активації присадки. Одночасно з переходом на зазначений режим ЕБК передає сигнал на електромагнітний активатор присадок і він починає

працювати, впливаючи електромагнітним полем на композиційну оливу і надає їй властивостей, необхідних для відновлення початкових характеристик оливи. Таким чином, відбувається покращення експлуатаційних характеристик оливи, забезпечення високої зносостійкості, а отже і експлуатаційної надійності двигуна в цілому та подовження міжсервісних пробігів транспортних засобів.

Висновки

Аналіз принципів автоматичного керування процесами в технічних системах дав можливість зазначити, що в триботехнічних системах можна реалізувати як принципи зворотного зв'язку, компенсації, так і їх комбінацію. Розглянуто різні типи зворотних зв'язків ТС із зовнішнім середовищем. Показано, що найбільш ефективно для керування процесами в ТС використати від'ємний зворотній зв'язок. Розроблені схеми автоматичного керування характеристиками в ТС різного виду: по виходу, по стану і комбінованому (по виходу і стану одночасно). Запропоновано реалізацію автоматичного керування зношуванням спряжень двигунів транспортних засобів на основі електронного блоку і електронної системи керування двигуном з використанням технологій триботехнічного відновлення поверхонь тертя деталей.

Ці технології реалізують режим "беззносного тертя" і мають великі можливості автоматичного їх керування і удосконалення по напрямках:

- варіювання вмістом компонентів в технологічному середовищі - створення композиційних технологічних середовищ;
- реалізація і керування трибохімічними реакціями на поверхнях тертя;
- керування різними за природою внутрішніми і зовнішніми потоками енергії для спрямованої і прискореної доставки компонентів антифрикційних, зносостійких покриттів в зону тертя;
- керування формуванням шару вторинних структур на поверхнях матеріалу елементів трибоспряжень;
- розробка способів формування аморфних плівок на поверхнях тертя;
- дослідження характеристик і керування процесами самоорганізації на поверхнях тертя під час припрацювання та в експлуатації елементів трибоспряжень деталей.

Література

1. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания / В.М. Найдыш // М.: Альфа – М; ИНФРА-М, 2004 – 622 с.
2. 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.
3. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами / Л.Н. Волгин. – М.: Наука, 1986. – 210 с.
4. 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 Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Вадивасова Д.Г. / Под. ред. В.В. Сафонова; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2009. – С. 10-16.
5. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине: Пер. с англ. И.В. Соловьёва / Под ред. Г.Н. Поварова. – 2-е изд. – М.: Сов. радио, 1968. – 326 с.
6. Лузин Н.Н. К изучению матричной теории дифференциальных уравнений / Н.Н. Лузин // Автоматика и телемеханика, 1940, т.1 №5. – С. 3-66.
7. Андронов А.А. Теория колебаний / А.А. Андронов, С.Э. Хайкин – М.; Л.: ОНТИ, 1937. – 520 с.
8. Аулін В.В. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузык // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. /Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2010. – № 100. – С. 127-133.
9. Пат. 45786 Україна, МПК(2009) F01M 9/00. Спосіб автоматичного керування зносом деталей двигуна внутрішнього згорання / Аулін В.В., Онолов М.В., Кузык О.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В., Лисенко В.М.; КНТУ. – №u200906111; заявл. 15.06.2009; опубл. 25.11.2009; Бюл.№ 22, 2009 р.
10. Пат. 74646 Україна, МПК(2012.01) F02D 41/00. Електронна система керування автомобільним двигуном внутрішнього згорання та характеристиками оливи. / В.В. Аулін, Д.С. Панарін, В.М. Бобрицький та ін. – u201203313; Заявл. 20.03.2012; Опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

Поступила в редакцію 28.11 .2013

Aulin V. Principles of automatic process control in the tribotechnical system.

The article is justified to the use of such principles of automatic process as tribosystem control feedback, compensation and combined (feedback and compensation at the same time). Tribosystems analyzed the types of relationships with the external environment, given their automatic control scheme using a negative feedback on the output, as well as, the output and the state simultaneously. Considered examples of automatic control for tribounit based on engine electronic control unit and the electronic engine management system using technologies tribological recovery.

Key words: tribotechnical system, automatic control, negative feedback, the external environment, engine oil, engine, self-organization, technology triboreconstruction.

References

1. Naidysh V.M. *Konceptcii sovremennogo estestvoznaniia*. M. Alfa, M; INFRA-M, 2004, 622 p.
2. Egupov N.D., Pupkov K.A. *Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniia. Sintez regulatorov sistem avtomaticheskogo upravleniia*. N.D. Egupov, v 5tt, M.: MGTU im. Baumana, 2004. T.3. 616 p.
3. Volgin L.N. *Optimalnoe diskretnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami*. M. Nauka, 1986. 210 p.
4. Aulin V.V., Solovykh E.K., Lysenko S.V., Kuzyk A.V. *Perspektivy razvitiia tribotehnologii povysheniia dolgovechnosti detalei dizelei mobilnoi tehniky*. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 100-letiiu so dnia rozhdeniia professora Vadivasova D.G.* Pod. red. V.V. Safonova; FGOU VPO "Saratovskii GAU". –Saratov, 2009. pp.10-16.
5. Viner N. *Kibernetika, ili upravlenie i sviaz v zhivotnom i mashine*: Per. s ang. I.V. Soloveva. Pod red. G.N. Povarova. 2-e izd. M. Sov. radio, 1968. 326 p.
6. Luzin N.N. *K izucheniiu matrichnoi teorii differentsialnykh uravnenii*. *Avtomatika i telemekhanika*, 1940, t.1 №5, pp. 3-66.
7. Andronov A.A., Haikin S.E. *Teoriia kolebaniy*. M. L. ONTI, 1937. 520 p.
8. Aulin V.V., Lysenko S.V., Kuzyk O.V. *Pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti mashyn shliahom modyfikuvannia motornoi olyvy*. *Visnyk Harkivskogo nac. tekhn. universytetu silsk. gospodarstva. Problemy nadiinosti mashyn ta zasobiv mehanizatsii silskogospodarskogo vyrobnytstva*. Harkiv. 2010. №100 pp. 127-133.
9. Aulin V.V., Onolov M.V., Kuzyk O.V., Lysenko S.V., Livitskyi O.M., Golub D.V., Lysenko V.M. *Patent No 45786 Ukraina, MPK(2009) F01M 9/00. Sposib avtomaticheskogo keruvannia znosom detalei dvyguna vnutrishnogo zgorannia* ; KNTU. №u200906111; zaiavl. 15.06.2009; opubl. 25.11.2009; Biul. № 22, 2009 r.
10. Aulin V.V., Panarin D.E., Bobrytskyi V.M. *Patent 74646 Ukraina, MPK(2012.01) F02D 41/00. Elektronna sistema keruvannia avtomobilnym dvygunom vnutrishnogo zgorannia ta harakterystykamy olyvy*. ta in. u201203313; Zaiavl. 20.03.2012; Opubl. 12.11.2012; Biul.№ 21, 2012 r.