

УДК.629.083

М.І. Черновол, д.т.н.
В.В. Аулін, к.ф.-м.н.
А.В.Гриньків

УЗГОДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ З РАЦІОНАЛЬНИМ ВИБОРОМ ОБ'ЄКТУ ДІАГНОСТУВАННЯ

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Aulin52@mail.ru

Забезпечення роботоздатного технічного стану під час експлуатації транспортних засобів мобільної сільськогосподарської техніки розглядається на основі взаємодії та узгодження збурюючих і керуючих впливів, які відображаються векторними функціями. З аналізу та синтезу останніх запропоновано математичну модель функції стану, з якої видно, що технічно справний стан підлягає як детермінованим так і випадковим компонентом різномірної дії факторів. Ґрунтуючись на експлуатаційній інформації розглянуто критерії для вибору об'єктів діагностування.

Ключові слова: транспортні засоби мобільної сільськогосподарської техніки, технічний стан, умови експлуатації, ряд Тейлора, критерій вибору, об'єкт діагностування, діагностична матриця.

Постановка проблеми

Стратегічним напрямом технічного сервісу на період до 2016 року і прогноз до 2020 року являється забезпечення роботоздатності і продовження термінів служби наявного парку транспортних засобів (ТЗ) мобільної сільськогосподарської техніки (МСГТ) за рахунок підвищення якості і ресурсу машин і агрегатів на основі освоєння прогресивних технологій їх обслуговування під час експлуатації із застосуванням технічної діагностики. Досвід експлуатації техніки в сільськогосподарському виробництві (СГВ) показує, що на сучасному етапі істотне підвищення ефективності технічної експлуатації не може бути досягнуте проведенням різних заходів, а вимагає системного підходу до розгляду технічної експлуатації ТЗ як складної системи, що потребує сучасних методів дослідження і вдосконалення стратегій обслуговування та створення математичного апарату раціонального вибору ресурсовизначальних систем і агрегатів для здійснення технічної діагностики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз сучасних методів експлуатації і технічної діагностики показав, що на сьогодні розроблені різні методи і стратегії технічного обслуговування, що містять в собі найрізноманітнішу інформативність, достовірність, трудомісткість застосування і складність проведення технічних дій. Для точного діагнозу пропонується контролювати велику кількість параметрів [1], що відображають дійсний технічний стан ТЗ. Рекомендації по числу контрольованих параметрів містять різні комбінації перевірок, які склалися на базі експлуатаційної інформації від 20 до 150, а час діагностування - від 2...3 хвилин до 4...5 годин [2]. Багато учених - фахівців в області технічного обслуговування і діагностування техніки займалися створенням і вдосконаленням методів технічного обслуговування. Великий внесок у розвиток методів діагностування внесли, В.А. Аллилуєв, Н.Я. Говорущенко, И. Г. Голубев, В.М. Михлин [3], О.Я. Лудченко [4], В.Є. Канарчук [5], В.П. Волков, О.С. Полянський, І.С. Наглюк, В.В. Біліченко [6] і ін. Основними питаннями в розробці і створення прогресивних стратегій експлуатації постали невизначеність в математичному відображенні дійсної зміни технічного стану транспортних засобів під час експлуатації.

Постановка завдання

Запропонувати математичний підхід для обґрунтування зміни технічного стану ТЗ під час експлуатації, для створення підґрунтя раціонального технічного діагностування.

Вирішення постановленого завдання

Під технічним станом ТЗ, розуміють сукупність змінних властивостей, що характеризуються в певний момент часу мірою відповідності фактичних значень показників і якісних ознак, встановлених в нормативно-технічній документації [2,3].

Зміна технічного стану об'єкту визначається значеннями діагностичних (контрольованих) параметрів. Вибір найбільш інформативних параметрів об'єкту діагностування може починатися тільки після дослідження явищ, що протікають в об'єкті, і наявності максимально наближеного опису контрольованих процесів.

Контроль об'єкту, як динамічної системи, зазвичай, розглядають як реакцію на вхідні збурюючі та керуючі дії. У такій схемі, заснованій на принципі «вхід-вихід», контроль і оптимізація роботи об'єк-

ту здійснюється на основі зв'язків між вхідними змінними, за які беруться усі зовнішні, збурюючі (умови експлуатації) та вихідні змінні, що розглядаються як керуючі дії з боку оператора і пристроїв, що керують системами.

Зміну технічного стану і контроль працездатності ТЗ МСГТ можна представити у вигляді системи (Рисунок 1).

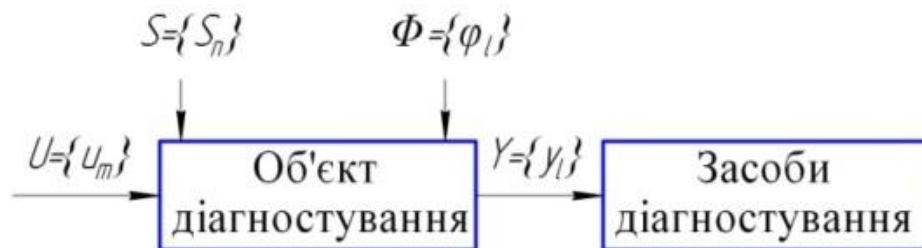


Рис. 1 - Схема впливу чинників на стан об'єкту

На вході діють векторні функції: умов експлуатації $S = [s_1(t), \dots, s_n(t)]$; керування $U = [u_1(t), \dots, u_m(t)]$; внутрішніх зв'язків $\Phi = [\varphi_1(t), \dots, \varphi_l(t)]$.

Це означає, що на об'єкт контролю діє n - збурюючих, m - керуючих та l - внутрішніх впливів, що є функціями будь-якого фактору, наприклад, часу t або пробігу L . Для ТЗ основним фактором є пробіг L . При цьому функція $S(L)$ характеризує зовнішні дії: характеристики дороги, кліматичні умови, навантаження. Внутрішні зміни характеризуються вектором $\Phi(L)$, що відображає процеси старіння, тертя та зношування.

Вихідні змінні утворюють також векторну k - мірну функцію $Y = [y_1(L), \dots, y_k(L)]$, компонентами якої є сукупність контрольованих параметрів. Вихідні параметри $Y(t)$ відображають відповідність поточного стану, контрольованих об'єктів, вимогам нормативної документації і залежність від впливу вхідних функцій $\Phi(L)$, $U(L)$ і $S(L)$. Завдання контролю на початковому етапі зводиться до розпізнавання цієї функції з двох класів: S_1 - об'єкт справний або S_2 - об'єкт несправний.

Під об'єктом контролю розуміють агрегат, вузол або складова частина ТЗ, що характеризуються певною кількістю контрольованих параметрів, по яких автоматично ідентифікується технічний стан. При цьому деякі параметри можуть характеризувати технічний стан як однієї складальної одиниці, так і декількох одночасно, або ТЗ в цілому.

При стаціонарному діагностуванні ТЗ об'єкти контролю намагаються помістити в жорстко фіксовані умови, але не вдається повністю відобразити усі навантажувальні та швидкісні режими. Тому стан вхідних і вихідних параметрів відповідає деяким, в загальному випадку, випадковим функціям часу або пробігу і для опису стану об'єкту необхідно використати функціонали від них. Отже при діагностиці доцільно контролювати два динамічні процеси - вхідний і вихідний.

Вище було показано, що об'єкт має вихідну векторну функцію $Y(L)$, характеристики якої залежать від векторних функцій $S(L)$, $U(L)$, $\Phi(L)$ і вектор піддається виміру. При цьому на нього впливає також вектор $Z = [z_1, \dots, z_q]$, який вносить похибку в процес виміру.

У результаті вектор $Y(L)$ залежить від чотирьох аргументів:

$$Y(L) = F_{\varphi}(S(L), U(L), \Phi(L), Z(L)), \varphi = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Працездатність об'єкту, як відомо [3], характеризує його здатність виконувати задані функції в певних умовах експлуатації. При цьому працездатність об'єкту характеризується таким технічним станом, при якому в даний момент часу (пробігу) ТЗ параметри вектора $Y(L)$ знаходяться в межах, встановлених нормативно-технічною документацією

$$y_{\varphi}(S(L), U(L), \Phi(L), Z(L)) \leq y_{\varphi, \text{дон}}, \quad (2)$$

де $y_{\varphi, \text{дон}}$ - допустима межа виміру для φ - го параметру.

Нерівність (2) виділяє простір станів ТЗ, що характеризує працездатність об'єкту областю G , де може змінюватися вектор $Y(L)$. Зміна вектору усередині області G безпосередньо залежить від характеру векторних функцій $U(L)$, $\Phi(L)$, $S(L)$, $Z(L)$.

При описі фізичних процесів, що протікають в об'єкті, вплив вектору $Z(L)$ не враховується. Зміна стану об'єкту може бути представлена значеннями деякою, векторною функцією $W(L)$ в загальному випадку [3], яка є функцією технічного стану або просто станом об'єкту. До сукупності контрольованих параметрів, що входять у функцію стану ставляться різні вимоги, серед яких головною є вимога надання необхідної повноти інформації про зміну технічного стану об'єкту. Це означає, що будь-яка

змінність в стані об'єкта має бути відображена в зміні значення фактору, що рівносильна вимозі про безперервність функції стану. За таких умов функція стану має бути диференційованою [4], що допускає розкладання її в ряд Тейлора по сукупності усіх факторів:

$$W(Y) = W(Y_0 + \frac{1}{1!} \sum_1^j W' \Delta y_j + \frac{1}{2!} \sum_1^j W'' \Delta y_j^2 + \dots); \quad (3)$$

або

$$W(Y) = W(Y_0 + \frac{1}{1!} \sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j + \frac{1}{2!} \sum_1^j \frac{d^2W}{dy_j^2} \Delta y_j^2 + \dots), \quad (4)$$

де Y_0 - сукупність номінальних значень контрольованих параметрів об'єкту діагностування; j - кількість контрольованих параметрів.

Не втрачаючи загальності, функцію стану можна визначити за виконанням умови:

$$W(Y_0) = 0. \quad (5)$$

В цьому випадку функція стану визначатиметься приростом усіх її факторів відносно номінальних значень:

$$W(Y) = W(Y_0 + \Delta Y) = \frac{1}{1!} \sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j + \frac{1}{2!} \sum_1^j \frac{d^2W}{dy_j^2} \Delta y_j^2 + \dots \quad (6)$$

За різних форм аналізу, як правило, в розкладанні функції стану в ряд Тейлора (6) залишають тільки перший член приросту фактору. Умовою допустимості такого обмеження кількості додатків розкладань функції є співвідношення:

$$\sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j \gg \sum_1^j \frac{d^2W}{dy_j^2} \Delta y_j^2. \quad (7)$$

Це обумовлюється тим, що складові розкладання з більш високою мірою приросту якісніше відображають функцію і на їх розрахунок витрачається менше часу. Враховуючи це, маємо:

$$W = \sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j. \quad (8)$$

З іншого боку функцію стану W можна представити як суму приростів факторів:

$$W = \sum_1^j \beta_j \cdot \Delta y_j, \quad (9)$$

де β_j - вага, визначена співвідношенням: $\beta_j = \frac{dW}{dy_j}$.

Кожен з приростів аргументів функції стану є деякою, в загальному випадку, випадковою функцією часу (пробігу), тобто:

$$\Delta y_j = y_j(t). \quad (10)$$

Відповідно, з (9) та (10) випливає, що і сама функція стану також залежить від часу, а для ТЗ - від пробігу:

$$W = \sum_1^j \beta_j \cdot \Delta y_j = \sum_1^j \beta_j \cdot y_j(L) = Y(L). \quad (11)$$

Зміни контрольованих параметрів об'єкту можуть бути за своїми властивостями розділені на два незалежні адитивні компоненти: оборотний і необоротний.

Перший з цих компонентів обумовлений існуванням цілого комплексу різного роду випадкових чинників, частина з яких носить зовнішній для об'єкту характер і обумовлена флуктуаціями зовнішніх умов і керуючих дій, і відображує вплив векторних функцій $S(L)$ і $U(L)$. За своїми властивостями оборотний компонент може розглядатися як випадкова функція з достатньо широким енергетичним спектром $V_j(L)$, де індексом j відмічена належність цього компонента j - му контрольованому параметру.

Другий компонент обумовлений протіканням сукупності необоротних фізичних процесів у контрольованого об'єкту. До таких процесів, у першу чергу, відносяться процеси старіння, тертя та зно-

шування, що характеризуються вектором $\Phi(L)$. Ці процеси протікають порівняно повільно, мають досить гладкий характер, і, як правило, відрізняються певними напрямками змін, що дозволяє використати для їх опису детерміновані функції часу (пробігу). Другий компонент є детермінованим компонентом $f_j(L)$ і залежність j -го контрольованого параметра від часу або пробігу становить [4]:

$$y_j(L) = f_j(L) + V_j(L), \quad (12)$$

і математична модель функції стану об'єкту, у відповідності з (11), має вигляд:

$$Y(L) = \sum_1^j \beta_j y_j(L) = \sum_1^j \beta_j (f_j(L) + V_j(L)) = \sum_1^j \beta_j f_j(L) + \sum_1^j \beta_j V_j(L) = F(L) + V(L). \quad (13)$$

З останнього виразу (13) випливає, що функція стану також матиме детермінований - $F(L)$ і випадковий - $V(L)$ компоненти.

Для одного і того ж об'єкту контролю, функції стану можуть бути вибрані різними способами. При цьому вимога про те, що вибрані параметри мають свою кількісну оцінку є однією з основних. Для ТЗ в цілому, так і для багатьох вузлів і агрегатів ці моделі відсутні. В той же час існуючі математичні аналогії часто мають складний вигляд [5] з багатократними допущеннями, які не дозволяють конкретно ставити відбір параметрів. Таким чином, в результаті моделювання зміни технічного стану отримана функція стану ТЗ, що дає узагальнений опис контрольованих процесів.

Вибір параметрів, для технічного діагностування повинен формуватися з урахуванням завдань, що стоять перед контролем технічних систем. У загальному вигляді система повинна визначати справний або несправний стан об'єкту діагностування та, відповідно, давати висновок про те чи можна або не можна продовжити експлуатацію ТЗ, відстежувати динаміку зміни його технічного стану в цілому.

Умовою і початковим етапом вибору діагностичних параметрів, має бути обґрунтування складу об'єктів контролю. Методично вибір об'єктів для технічного діагностування повинен найбільшою мірою відображувати усю сукупність значних експлуатаційних чинників. Вибір об'єктів діагностування можна розглядати як завдання розділення початкової множини $\bar{R}_0$ на дві підмножини, що не перетинаються :

$$\bar{R}_0 = R_k \cup R_n, \quad (14)$$

де $R_k = \bigcup_{j=1}^k R_j$ - підмножина, яка складається з k об'єктів, що підлягають технічному діагностуван-

ню; $R_n = \bigcup_{j=k+1}^n R_j$ - підмножина, яка складається з $n=P-k$ об'єктів, що не підлягають технічному діагно-

стуванню; P – загальна кількість об'єктів діагностування, що було виділено спочатку.

Щоб запропонувати методичний підхід відбору об'єктів, що підлягають технічному діагностуванню, слід сформулювати комплекс критеріїв відбору таким чином, щоб він повною мірою спирався на створену інформаційну базу експлуатації ТЗ відносно надійності агрегатів, систем, вузлів, наслідків і можливостей виявлення відмов, витрат і умов їх усунення.

При цьому критерії повинні відповідати наступним основним вимогам:

- мати кількісну характеристику;
- його значення повинні визначатися достатньо точно без значних витрат засобів і часу;
- базується на отримуваних при експлуатації і випробуваннях ТЗ початкових даних.

Раціональна структура об'єктів контролю повинна забезпечуватися достовірними початковими даними експлуатації автомобілів в певних умовах. Враховуючи збір даних, що отримані, за результатами контролю під час експлуатації і випробувань ТЗ його можна представити як складну систему, що має підсистеми (двигун, електроустаткування та ін.), які у свою чергу підрозділяються на безліч вузлів і деталей. Усі ці складові частини ТЗ є об'єктами діагностування. Структурна модель систем і агрегатів ТЗ МСГТ представлена на рисунку 2.

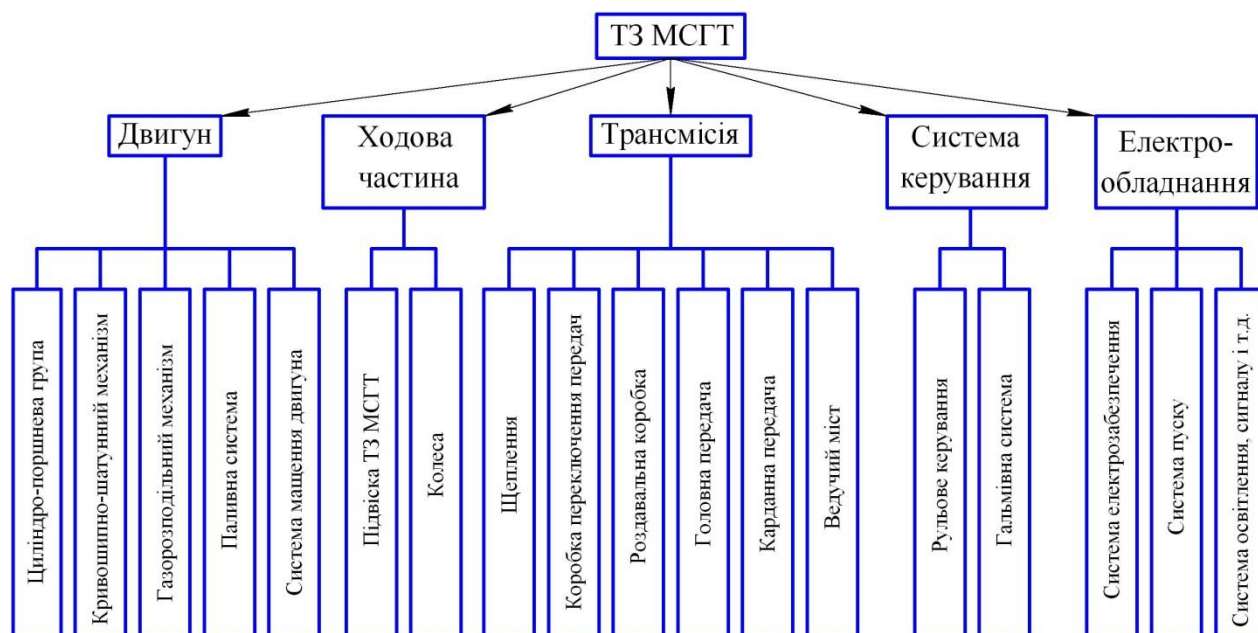


Рис. 2 - Структурна модель систем і агрегатів Т3 МСГТ

Застосування моделі дозволить систематизувати початкові дані і на їх основі виявити об'єкти, які слід діагностувати в першу чергу. В якості об'єкту діагностування розглядається вузол, агрегат або їх сукупність та відмови, які відбуваються під час експлуатації.

Для формування доцільної сукупності об'єктів слід проаналізувати інформаційну базу найбільш значимих факторів, що визначають відбір об'єктів діагностування. Структура бази, побудована на основі цільового підходу [6] і аналізу досвіду експлуатації і випробувань Т3 представлена на рисунку 3.



Рисунок 3 - Структура інформаційної бази формування оцінки доцільності діагностування об'єктів

Аналіз структури інформаційної бази і ітеративний перебір кількісних оцінок дозволяє сформува-ти критерії відбору з урахуванням вимог, що ставляться до них, та перейти до розрахунку об'єкту діагностування, враховуючи початкові експлуатаційні дані. Надалі необхідно отримати кількісні оцінки і за вибраними критеріями, проранжувавши їх по різних об'єктах діагностування.

Потім, залежно від загальної суми рангів, отриманої кожним об'єктом, і подальшої оцінки резуль-татів ранжирування, виявляється сукупність об'єктів діагностування.

Аналіз структури інформаційної бази показав, що не по кожному чиннику можуть бути отримані експлуатаційні дані і визначено відповідний критерій, тому для практичного використання відбира-ються лише два чинники, для яких відоме кількісне значення і накопичені початкові дані. Для аналізу наслідків відмов порівнюваних об'єктів діагностування в процесі експлуатації пропонується викори-стати критерій відносної вагомості відмови об'єкту:

$$B_i = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^M n_{ij} K_{ij} (\bar{z}_{ij} \bar{\tau}_{ij} + C_l), \quad (15)$$

де M – кількість відмов i -го об'єкту діагностування за пробіг L ; n_{ij} – число j - х однойменних від-мов i -го об'єкту діагностування за даний пробіг; K_{ij} – коефіцієнт впливу об'єкту діагностування на роботоздатність ТЗ МСГТ; $\bar{z}_{ij}$ – середня заробітна плата спеціалістів ремонтного підрозділу при усу-ненні j -ї відмови i -го об'єкту діагностування, грн./люд.-год.; $\bar{\tau}_{ij}$ – середня трудомісткість усунення j -ї відмови i -го об'єкту діагностування, люд.-год.; C_l – вартість деталей, що необхідно замінити при l -ому ремонті вузлів або деталей, грн.

У таблиці 1 наведені значення коефіцієнта K_{ij} залежно від наслідків відмови, який характеризує значимість j -ої відмови при експлуатації i -го об'єкту діагностування і вплив його наслідків на праце-здатність ТЗ в цілому.

Таблиця 1.

Коефіцієнт K_{ij} впливу j -ої відмови i -го об'єкту діагностування на роботоздатність ТЗ

Наслідки j -ої відмови i -го об'єкту діагностування	Значення K_{ij}
1. Наслідки функціонування системи і погіршення функціональних якостей ТЗ без втрати його роботоздатності в цілому.	0.05...0.10
2. Експлуатація автомобіля з несправностями, що визначають ймовірнісну дорожню відмову на пробігу між черговими ТО і погіршення техніко-економічних показників по відношенню до вимог технічної документації.	0.1...0.2
3. Експлуатація з погіршеними техніко-експлуаційними характеристиками ТЗ на граничних і аварійних режимів у зв'язку з підвищенням частоти виконання водієм керуючих впливів з прикладанням додаткових зусиль, а також при прискореному зношуванні вузлів або з загрозою для безпеки руху чи екології.	0.2...0.4
4. Дорожня відмова, тобто повна втрата роботоздатності і неможливості про-довжувати рух.	0.4...0.6
5. Важкі наслідки відмови, які завдали значних витрат на відновлення (напри-клад, вихід з ладу двигуна, ДТП і інші.)	0.6...1.0

Критерій B_i характеризує втрати часу і питомі матеріальні витрати на усунення j -ї відмови i -го об'єкту діагностування з урахуванням його впливу на працездатність ТЗ МСГТ.

В якості характеристики конструктивної складності об'єкту діагностування пропонується викорис-тати частку відмов, що не можуть усунутися водієм, за умови наявності запасних частин і відсутності спеціального устаткування :

$$V_i = \frac{H_i}{M_i}, \quad (16)$$

де H_i – кількість відмов i -го об'єкта діагностування, які неможливо усунути водієм; M_i – загальна кількість відмов i -го об'єкту діагностування.

За результатами розрахунків приведених критеріїв будується діагностична матриця рядки якої ві-дповідають назвам об'єктів діагностування, а стовпчики – значенням показників і рангів. На перетині рядків з стовпчиками проставляється числове значення по показникам для конкретного об'єкта діаг-ностування і його рангу. Остання пара стовпчиків складає загальну суму рангів і місце об'єкту діаг-

ностування по відношенню до інших.

Аналізуючи зміст діагностичної матриці і загальне місце, зайняте конкретним об'єктом, а також враховуючи рівнозначність критеріїв між собою, на завершальному етапі відбирається склад об'єктів контролю, що підлягають діагностуванню.

Висновки

1. Інформаційну векторну функцію, зміни технічного стану ТЗ, запропоновано розглядати у вигляді розкладеного ряду Тейлора. З розкладеного ряду зроблено висновок, що для легшого, а також з найменшими втратами якості відображення функції технічного стану необхідно розглядати тільки перший член приросту фактору функції. Зміна контрольованих параметрів об'єкту також потрібно розділяти, за своїми властивостями, на два незалежні адитивні компоненти: оборотний та необоротний.

2. Зміна технічного стану ТЗ або його складових частин визначається значеннями діагностичних параметрів. ТЗ або його складові частини необхідно розглядати, як динамічні системи, на вході яких діють векторні функції збурюючих, керуючих та внутрішніх дій, а на виході - вектори усіх контрольованих параметрів. В результаті моделювання, зміни технічного стану об'єкту діагностування, отримана функція стану, яка дає узагальнений математичний опис контрольованих процесів.

3. Умовою і початковим етапом, який передуює вибір діагностичних параметрів, є обґрунтування складу об'єктів контролю. Вибір контрольованих об'єктів ґрунтується в розділенні вихідної підмножини $\bar{R}_0$ на дві підмножини, що не перетинаються, які складається з k об'єктів, що необхідно діагностувати та $(P-k)$ об'єктів, що не потрібно піддавати технічному діагностуванню. Для вибору об'єктів контролю розроблено спосіб, заснований на оцінці їх безвідмовності за допомогою критеріїв відносної ймовірності відмов і частки відмов, що не можуть усуватися водієм.

Список літературних джерел

1. Аулін В.В. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки/ В.В.Аулін, А.В.Гриньків, С.В.Лисенко та ін.// Вісник ХНТУСГ ім.Петра Василенка. – Вип.158./Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків, 2015. – С.252-262
2. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vsegost.com/> - 22.03.2012.
3. Михлин В.М. Прогнозирования технического состояния машин/ В.М.Михлин – М.: Колос, 1976 – 286с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів, організація і управління/ О.А.Лудченко. – К.: Знання, 2004. – 478с.
5. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець. – К. : Вища школа, 1994. – (У 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. – 342 с.; Кн. 2: Організація, планування і управління. – 383 с.; Кн. 3: Ремонт авто-транспортних засобів. – 599 с.
6. Біліченко В.В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів/ В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, Ю.Ю. Кукурудзяк, С.В. Цимбал – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 118 с.
7. Иншаков А.П. Диагностирование турбокомпрессора автотракторного дизельного двигателя на обкаточно-тормозном стенде 5543 ГОСНИТИ /А.П. Иншаков, А.И. Кувшинов, И.И. Курбатов, О.Ф. Карнаухов // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №1. – С. 39–41.