

12. Поркуян О. В., Сотникова Т. Г. Комбинированный метод определения относительного содержания магнетита в твердой фазе железорудной пульпы / Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". № 12. Харьков. НТУ "ХПИ". 2010. С.29-36.

13. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 т. Т.1 / Пред. и прим. А.А. Флоринского. – 8-е изд. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 864с.

14. Зайцев С.П. Теорія ймовірностей і математична статистика. / Вид. Алерта, 2013. – 440с.

15. Дрогомирецька Х. Т. Теорія ймовірностей та математична статистика/ Х. Т. Дрогомирецька, О. М. Рибицька, О. З. Слюсарчук, Н. В. Пабіривська, Л. В. Гошко, О. В. Веселовська, Д. В. Білонога. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 396 с.

Рукопис подано до редакції 08.04.2021

УДК 681.518

М.В. КІЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Н.М. КІЯНОВСЬКА, канд. пед. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ФУНКЦІЙ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ ОБ'ЄКТІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Тривалий досвід забезпечення працездатності обладнання полягає у використанні в програмах його технічного обслуговування та ремонтного відновлення працездатності (ТОіР) ймовірнісних моделей надійності, що загальмувало на тривалий час активне впровадження методів, технологій та засобів діагностичного забезпечення формування регламентів ТОіР, врахування причин розвитку деградаційних процесів, їх фізичної природи, та видів дефектів обладнання (і тим самим забезпечити їх адекватність). Встановлено, що у більшості випадків існуючі моделі, що пропонуються для сучасних систем технічної діагностики передбачають громіздкі алгоритми та складні системи технічної діагностики.

**Мета.** Розробка та уніфікація діагностичних моделей, в яких перехідна функція повинна утворити одномірну ознаку технічного стану інваріантно до природи деградаційних процесів.

**Методи дослідження** передбачають аналіз частотного складу енергетичного спектра коливальних процесів, що генеруються деталями і вузлами механізму в процесі їх продуктивного використання для отримання діагностичної інформації про поточний стан обладнання.

**Наукова новизна** викладеного матеріалу полягає у тому, що у статті виконано систематизацію і глибокий аналіз всіх відомих у сучасній науці діагностичних моделей, методів та технологій моніторингу працездатності обладнання, ідентифікації його дефектів, прогнозування динаміки зміни технічного стану обладнання з часом. Розглянуто особливості уніфікованої багатопараметричної перехідної функції, що забезпечує інваріантність перетворення діагностичного сигналу в одномірний інтегральний показник технічного стану на підставі оцінки коливального збудження машини від дії дефекту.

**Практичне значення** проведеного дослідження полягає у знаходженні доказів перспективності діагностичних моделей з однопараметричним (одномірним) інтегральним вихідним параметром технічного стану в програмах діагностичного забезпечення програм ТОіР, які забезпечують розпізнавання і ідентифікацію дефектів на підставі встановленої залежності між появою і зростанням дефекту обладнання та рівнем і темпом зміни спектральної щільності і-ї дільниці енергетичного спектра діагностичного сигналу.

**Результати.** Забезпечення повного обсягу діагностичної інформації для впровадження адаптивного керування надійністю обладнання «за станом».

**Ключові слова:** моделі діагностики, визначення технічного стану, перехідні функції, режим реального часу, промислове обладнання, технічна діагностика.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-117-124

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Визначення методів оцінки працездатності у реальному часі з метою вибору найбільш інформативних та промислово придатних для діагностичного моніторингу моделей діагностики, експрес дослідженню процесів спрацювання обладнання, при умові безрозбірної ідентифікації у режимі реального часу його технічного стану і без виводу з експлуатації, що створить умови адекватності у визначенні регламентів та змісту технічного обслуговування та ремонту (ТОіР).

Ефективність досліджень полягає у впровадженні маловитратних стратегій обслуговування обладнання «за станом», що насамперед пов'язане з створенням інформаційної і методичної бази систем моніторингу, необхідної для аналізу вихідних стаціонарних функціональних пара-

метрів і динамічних реакцій машини на робочий процес, з метою визначення її технічного стану в мінімальному прикметникову просторі.

Досягнення мети можливо при використанні обґрунтовано точних передавальних функцій моделей діагностики інваріантних до конструкції об'єкта експлуатації, природи деградаційного процесу, виду дефекту. Метод діагностичного моніторингу повинен стати зручним тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр  $X$  інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей.

**Аналіз досліджень і публікацій.** При вирішенні задач забезпечення надійності і управління технічним станом промислового обладнання у режимі реального часу, завжди актуальним є формалізація процесів втрати працездатності та відновлення ресурсу. Вибір методів оцінки працездатності обладнання для вирішення задач системи моніторингу технічного стану розглянуто у дослідженнях [1, 5], де в першу чергу обґрунтовано потребу у розробці моделей надійності, що будуються на фізичній природі, динаміці деградаційних процесів, які дозволяють прогнозувати зміни стану обладнання, сприяють зменшенню експлуатаційних витрат на його утримання у ході виробничого використання.

Для цієї ситуації доцільно пропонується відома множина методів вирішення [1,5,6] кожної локальної задачі і, скориставшись результатами досліджень [5], є можливість вибрати метод оцінки працездатності об'єкта. В названих методах використовують різні діагностичні моделі (ДМ) (табл.1).

Таблиця 1

Класифікація діагностичних моделей, що пропонуються для сучасних систем технічної діагностики

Вид діагностичної моделі (ДМ)	Графічна ілюстрація структури діагностичної моделі (ДМ)
1. Одноканальна (ДМ)	
2. Багатоканальна, багатопараметрична з некорельованими діагностичними сигналами	
3. Багатоканальна, багатопараметрична з корельованими діагностичними сигналами	
4. Багатоканальна, багатопараметрична з технологіями «чорного ящика»	
5. Багатоканальна, багатопараметрична з множиною перехідних функцій, що корелюють вихідний сигнал	
6. Багатоканальна, багатопараметрична з одномірною перехідною функцією, що корелює вихідний сигнал	

Застосування названих діагностичних моделей технічно і організаційно складно, потребує високі затрати, через потребу розробки складних, багатопараметричних (через множини методів, що використовуються) систем технічної діагностики для кожного оригінального елемента технічної системи (обладнання) та відповідних деградаційних процесів їх спрацювання.

**Постановка задачі.** Розробка та уніфікація діагностичних моделей, в яких перехідна функція  $h_{ji}(t)$  повинна утворити одномірну ознаку технічного стану (діагностична модель № 6) інваріантно до природи деградаційних процесів, що дозволить використання узагальнюючого параметра технічного стану, інваріантного до конструкції обладнання, деградаційних процесів, що забезпечить розпізнавання технічних станів механізмів обладнання у реальному часі для формування гнучких регламентів обслуговування, об'єм і зміст яких адекватний технічному стану механізму.

**Викладення матеріалу та результати.** Вимоги до ролі, призначення, специфіки перетворень діагностичного сигналу у діагностичній моделі. Згідно з аналізом всіх відомих в сучасній науці методів вирішення поставлених задач [1,6] в світовій практиці серед засобів і методів контролю технічного стану машинних агрегатів найбільш ефективними є метод контролю порушень передавальних функцій механізмів під дією дефектів виготовлення, монтажу та експлуатації, що розвиваються у часі. Передавальні функції визначаються характером перехідних процесів у структурі механізмів, що здійснюються в ході їх виробничого використання.

Для досягнення мети досліджень, тобто створення промислово придатних технічних систем діагностики, отримання діагностичної інформації, достатньої для впровадження маловитратних стратегій обслуговування обладнання «за станом», насамперед потрібно створення інформаційної і методичної бази систем моніторингу, необхідної для аналізу вихідних стаціонарних функціональних параметрів і динамічних реакцій машини на робочий процес, з метою визначення її технічного стану в мінімальному прикметниковому просторі.

Це можливо при використанні обґрунтовано точних передавальних функцій моделей діагностики інваріантних до конструкції об'єкта експлуатації, природи деградаційного процесу, виду дефекту. Метод діагностичного моніторингу повинен стати зручним тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр  $X$  інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей, що відповідає діагностичній моделі №6.

У ході продуктивного використання технологічних машин, тобто в умовах їх справного функціонування, загальна перехідна функція їх механізмів знаходиться в межах допусків, але зазнає все більших флуктуацій за рахунок зміни і розузгодження передавальних функцій елементів механізмів, що не контролюються. В умовах експлуатації збурюючі впливи і динамічні характеристики механізму є параметрами, що не спостерігаються.

Швидкість втрати працездатності обладнання промислових виробництв обумовлена інтенсивністю процесів  $g(1 \dots n)$ , що спричиняють накопичення пошкоджень, зношення деталей функціональних вузлів та робочих поверхонь обладнання.

Статистичне вивчення цих процесів, встановлення їх закономірностей, дозволяє отримати ймовірнісні моделі надійності і задовольняє потребу у організації ремонтно-відновлювального обслуговування на базі ймовірнісних оцінок експлуатаційних властивостей. Але це не стало достатньою умовою для мінімізації швидкості спрацювання і витрачання ресурсу обладнання при певних умовах його експлуатації. Досягнення цієї мети можливо лише при розкритті фізичних закономірностей процесів зносу та пошкодження обладнання. У цьому випадку швидкість витрачання ресурсу  $U$  при будь якій природі деградаційних процесів і відповідно [5]

$$\gamma = \frac{\partial U}{\partial t} = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_n),$$

де  $Z$  – параметри, які характеризують вплив конструктивно-технологічних, монтажних, налагоджувальних дефектів, деградаційних процесів та умов експлуатації.

Всі машини структурно-подібних груп є комплексом різнорідних елементів, сполучених в механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні, газодинамічні і комбіновані системи. Кожна машина функціонує і взаємодіє із зовнішнім середовищем, породжує безліч фізичних і хімічних процесів, які характеризуються вихідними параметрами. Вихідні параметри можна розділити на робочі (функціональні) і супутні (динамічні, шуми, стук, вібрації, коливання,

люфти і ін.). Вихідні параметри істотно залежать від стану структурних елементів і характеру їх взаємодії. З іншого боку вихідні параметри тісно корельовані з макроструктурою, станами енергетичного навантаження елементів машини і тому служать в ролі непрямих ознак для визначення її технічного стану без розбирання. Вибір вихідних параметрів і включення їх в групу діагностичних, виконується на основі їх відповідності достовірності, інформативності і інших критеріїв.

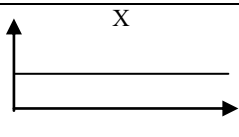
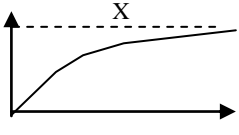
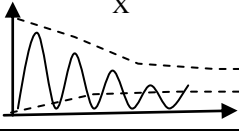
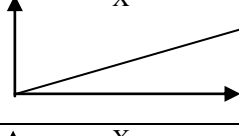
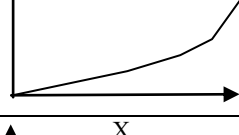
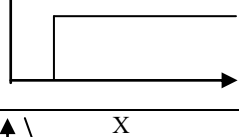
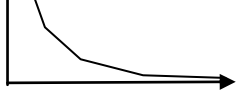
У процесі функціонування механізмів технологічного обладнання при переробці сировини енергія приводу перетворюється в роботу його виконавчих робочих органів. Всі деталі кінематичних і силових ланцюгів механізмів, через які передається і перетворюється енергія приводу знаходяться в режимі динамічної взаємодії. При цьому вважається, що в будь-якому режимі справного функціонування, взаємодія передавальних ланцюгів повинна спромогтися до динамічної рівноваги.

Для отримання інформації щодо впливу деградаційних процесів  $g(1 \dots n)$ , розглянемо характер протікання процесів, що приводять до зміни технічного стану обладнання (табл. 2).

Розвиток цих процесів вимагає певних енергетичних ресурсів, що обумовлює використання їх енергетичних параметрів у складі діагностичного моніторингу та умови їх інваріантності до різних конструктивних елементів технічних систем.

Таблиця 2

Перехідні процеси у поточних станах механізмів обладнання під впливом конструктивно-технологічних, монтажних, налагоджувальних дефектів, деградаційних процесів та умов експлуатації

Ланцюг механізму	Перехідний процес	Основний параметр технічного стану
Безінерційний		Статична деформація
Інерційний		Теплові деформації
Коливальний		Вібрації
Інтегруючий ідеальний		Знос
Інтегруючий інерційний		Розвиток тріщини в томи
Запізнюючий		Утворення наросту
Диференціюючий інерційний		Зміна шорсткості

При експлуатації механізмів обладнання на них діють різні види енергії (механічна, тепла, хімічна та ін.), але розвиток і активізація процесів інтенсивного спрацювання їх елементів настає коли рівень енергії перевершує деякий критичний. Основним наслідком дії різних

видів енергії є зношення поверхонь, зміна їх геометричної форми, порушення законів функціонування. Частково попередження наступу критичних рівнів енергетичного навантаження і, як наслідок, попередження підйому інтенсивності спрацювання механізмів від дії механічних, теплових, хіміко-технологічних навантажень, досягається оперативним контролем функціональних параметрів: температури, тиску, вологи, складу хімічних інгредієнтів середовища, параметрів маслосистем і т.п. Сучасні регламенти процесів експлуатації не орієнтовані на контроль і попередження критичного рівня динамічного навантаження, що не запобігає інтенсивне спрацювання механізмів.

Контроль енергетичного навантаження елементів механізмів обладнання є найбільш інформативним критерієм швидкості спрацювання їх ресурсу, і тому використання цього критерію як уніфікованого інваріантного засобу контролю процесів спрацювання

Відомо [5,6], що динамічна взаємодія елементів механізму породжує коливальні процеси (табл.2), а їх характеристики будуть корельовані з глибиною розвитку дефекту.

При цьому розвиток дефектів і деградаційних процесів впливає на параметри динамічної системи у вигляді зміни характеру взаємодії елементів, зміни функції примусової сили, передавальної функції механізму.

Збереження параметрів динамічної системи обладнання вимагає підвищення енергетичних витрат на підтримку динамічної рівноваги елементів механізму.

Енергетичні витрати на підтримку умови рівноваги істотно впливають на ККД механізму і технологічної машини загалом, і стають досить інформативним джерелом відомостей про технічний стан елементів механізму, наявність дефектів або розвиток деградаційних процесів.

Відомо [5], що динамічна взаємодія елементів механізму породжує коливальні процеси, а їх характеристики будуть корельовані з глибиною розвитку дефекту.

Під діагностичною реакцією елемента, який контролюється, мається на увазі відгук елемента виражений у виді коливального збудження, від дії  $q_i(t)$ . Отже об'єктивна діагностична інформація про технічний стан деталей і вузлів механізмів обладнання може бути знайдена в аналізі енергетики процесів їх взаємодії, так як в процесі перетворення енергії джерела в роботу генеруються змінні сили, які збуджують коливання окремих частин машини.

Якщо порівняти ці процеси за швидкістю зміни узагальнюючого параметру, як критерію оцінки процесів спрацювання механізмів, то найбільш інформативними у режимі реального часу є узагальнюючі параметри механізмів як коливальних систем.

З огляду на цей висновок, методи акустичної діагностики – [5, 6] є найбільш чутливі до дефектів функціонування пристроїв, забезпечуючи контроль їх технічного стану оперативно і без розбирання і багато дешевше альтернативних методів.

Метод вібродіагностичного моніторингу зручний тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр  $X$  інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей (відповідно умовам використання діагностичної моделі №6).

Діагностичний сигнал, при концепції безрозбірного контролю, є інтегрованим, тобто таким, що містить діагностичну інформацію про сукупність діагностичних реакцій елементів механізму у вигляді коливальних процесів різної природи. Під діагностичною реакцією елемента, який контролюється, мається на увазі відгук елемента виражений у вигляді коливань, що генеруються ним на вплив на нього чинників виготовлення, збирання, монтажу і експлуатації.

Отже об'єктивна діагностична інформація про технічний стан деталей і вузлів механізмів обладнання може бути знайдена в аналізі енергетики процесів їх взаємодії, так як в процесі перетворення енергії джерела в роботу генеруються змінні сили, які збуджують коливання окремих частин машини.

Для вивчення діагностичних реакцій взаємодії деталей і вузлів механізму необхідно їх описати за допомогою диференціальних (у часі) або алгебраїчних (в частотній області) рівнянь. Однак треба помітити, що реакціями, які контролюються методами безрозбірного контролю є тільки вихідні реакції кінцевих ланок, які є суперпозицією реакцій взаємодії структурних елементів механізму і можуть бути описані через інтеграл Дюамеля

$$X_j(t) = \sum_{j=1}^p x_{ji}(t) = \sum_{j=1}^p \int_0^{\infty} h_{ji}(\tau) q_i(t - \tau) d\tau,$$

де  $q_i(t)$  – вплив на  $i$ -му вході;  $h_{ji}(t)$  – імпульсна перехідна функція,  $(t-\tau)$  – період оцінки впливу  $q_i(t)$ .

Реалізація такого методу апаратними засобами можлива, але вона пов'язана зі значними витратами і тому треба знаходити способи вирішення цієї задачі без збільшення експлуатаційних витрат. Для цього треба вивчити склад чинників (рівень змушуючих сил; пружно-інерційні характеристики елементів системи; дефекти виготовлення, збирання, експлуатації) і міру їх впливу на рівень динамічної реакції механізму.

У такому складі процеси спрацювання механізмів через рівень енергетичного навантаження їх деталей і динамічних реакцій взаємодії ще не вивчались, але саме такий склад процесів спрацювання задовольняє інформаційну забезпеченість діагностичного моніторингу технічного стану.

Таким чином, динамічні реакції взаємодії елементів можна розглядати як джерело інформації про технічний стан елементом механізму. Вимірюючи параметри динамічних реакцій можна встановити залежність

$$T_i = F(R_i),$$

де  $T_i$  – параметр технічного стану;  $R_i$  – відповідна реакція взаємодії елементів механізму.

Отже ознака  $R$  посилюється або змінюється при появі або розвитку дефектів. Оскільки  $R$  – це силова характеристика елемента, який генерує коливання, а їх характеристики будуть корельовані з глибиною розвитку дефекту. Таким чином вихідні параметри діагностичної моделі повинні бути визначені через характеристики коливань, які збільшуються в зв'язку з розвитком дефекту.

На цих умовах забезпечується мінімальна сукупність статичних і динамічних параметрів, яка є інформаційною базою для формалізації методів побудови алгоритмів визначення технічного стану на основі прийнятої діагностичної моделі. У нашому випадку як початкову діагностичну модель краще прийняти модель динамічної взаємодія елементів механізму з допомогою якої працездатний або непрацездатний стан машини визначається значеннями вхідних, внутрішніх і вихідних параметрів.

Перехідна функція  $h_{ji}(t)$  повинна утворити одномірну ознаку технічного стану інваріантно до природи деградаційних процесів. Найбільш перспективним методом діагностики є оцінка впливу  $q_i(t)$  на рівень динамічної реакції механізму. У такому складі процеси спрацювання механізмів через рівень енергетичного навантаження їх деталей і динамічних реакцій взаємодії ще не вивчались, але саме такий склад процесів спрацювання задовольняє інформаційну забезпеченість діагностичного моніторингу технічного стану.

Отже ознака  $R$  може бути встановлена на початку експлуатації машини і посилюється або змінюється при появі або розвитку дефектів і має циклічний характер, який є гармонізованим з основною частотою робочого процесу машини. Оскільки  $R$  – це силова характеристика елемента, який генерує коливання, то вона визначає енергетичні витрати джерела коливань, які збільшуються в зв'язку з розвитком дефекту.

Таким чином енергетичний показник коливальних збуджень у ході динамічної взаємодії елементів може стати уніфікованим, інваріантним (до виду деградаційного процесу, до виду конструкції об'єкта експлуатації) показником технічного стану, але залишається проблема ідентифікації виду дефекту, що забезпечить умову адекватності змісту ремонтного втручання для відновлення працездатності машини.

Характеристики коливань можна встановити, якщо зберегти відомі способи опису механічного об'єкта у часі або частотній області і представити механізм у вигляді динамічної системи з  $n$  мірами свободи:

$$Mx'' + Kx' + Cx = G,$$

де  $M$ ,  $K$ ,  $C$  – симетричні матриці ( $n \times n$ ) коефіцієнтів інерції, демпфування і жорсткості, а  $x$  і  $G$  –  $n$ -мірні вектори координат і діючих сил.

При цьому передбачається, що динамічні реакції взаємодії елементів  $h_i$  що змінюються при появі дефекту  $g_i$  входять в рівняння в неявному вигляді. Цей висновок ускладнює визначення перехідної функції у контексті оцінки характеру кореляції  $h_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

У такому випадку, якщо динамічну модель механічного об'єкта записати в операторному вигляді

$$X(t) = LG(t),$$

де  $X(t)$  – вектор вихідних сигналів;  $G(t)$  – вектор вхідних впливів і зберегти незмінними вхідні впливи, то ми будемо реєструвати зміни вихідних сигналів механізму, тобто передавальна функція механізму стає функцією двох аргументів  $L[G(t)\Delta S(\omega)]$  і для оцінки технічного стану треба встановити значення аргументу і міри його впливу на оператор системи  $L$ .

Реакцію на вхідний вплив можна записати за допомогою системного оператора  $X(t) = Ly(r)$ . Динамічна реакція буде лінійною якщо

$$L(y_1 + y_2) = Ly_1 + Ly_2 \text{ і } L(\alpha y) = \alpha Ly.$$

У цьому випадку гармонічний вхідний сигнал, проходячи через лінійну систему, залишається незмінним за формою, і набуває лише іншої амплітуди і початкову фазу. У частотній області для лінійних систем вхідний вплив викликає реакцію на тій же частоті, а результат одночасного впливу декількох сил є суперпозицією відгуків на кожен з них. При цьому щодо енергетичних спектрів  $S_x(\omega) = S_y(\omega)[H(j\omega)]^2$  передавальна функція. У разі корельованих впливів спектральна щільність потужності реакції на  $j$ -му виході має вигляд

$$S_{x_j}(\omega) = \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p H_{j_k}(\omega) H_{j_l}(\omega) S_{q_k q_l}(\omega),$$

де  $H(\omega)$  – комплексно-зв'язана функція, що може бути вивчена експериментально за допомогою спектральної щільності потужності коливань

$$S_i(\omega) = [H_i(\omega)]^2 S_{q_i}(\omega),$$

де  $H_i$  – імпульсна перехідна функція елемента, що характеризує відгук елемента на  $i$ -й одиничний вплив;  $S_{q_i}(\omega)$  – спектр потужності  $i$ -го впливу;  $\omega$  – кругова частота,

$$H_i = \frac{\omega_c^2}{1 - (\omega/\omega_c)^2 + j(\omega/\omega_c) \frac{1}{Q}},$$

де  $\omega$  – частота  $i$ -го впливу (збудження);  $\omega_c$  – власна частота  $i$ -го елемента  $\sqrt{c/m}$ ;  $Q$  – добротність джерела коливань  $\sqrt{cm/k}$ ;  $S_{q_k q_l}$  – взаємний спектр  $K$ -го і  $l$ -го впливів.

Таким чином, кількісною мірою появи і зростання дефекту обладнання може бути рівень і темп зміни спектральної щільності  $i$ -ї ділянки енергетичного спектра діагностичного сигналу, що є передумовою вибору методу безрозбірного оцінювання технічного стану обладнання.

Складність частотного складу енергетичного спектра зумовлена складністю коливальних процесів, що генеруються деталями і вузлами механізму в процесі їх продуктивного використання. При аналізі енергетичного спектра передбачається, що зародження кожного дефекту, його розвиток виявляється у вигляді частотного компонента різної інтенсивності. Закономірність зміни інтенсивності характеризує характер і темп розвитку дефекту.

Цей метод забезпечує концепцію безрозбірного контролю з використанням інтегрованих показників технічного стану.

#### **Висновки та напрямки подальших досліджень:**

проведення дослідження і їх результати забезпечують теоретичне обґрунтування застосування і технічної реалізації спрощених алгоритмів діагностичної ідентифікації технічного стану на підставі використання перехідних функцій  $h_{ji}(t)$  діагностичної моделі, які утворюють однією ознакою технічного стану інваріантна до природи деградаційних процесів перехідних функцій з можливістю розпізнавання дефектів;

уніфікована багатопараметрична перехідна функція забезпечує інваріантність перетворення діагностичного сигналу в одновимірний інтегральний показник технічного стану на підставі оцінки коливального збудження машини від дії дефекту;

складність частотного складу енергетичного спектра зумовлена складністю коливальних процесів, що генеруються деталями і вузлами механізму в процесі їх продуктивного використання. При аналізі енергетичного спектра передбачається, що зародження кожного дефекту, його розвиток виявляється у вигляді частотного компонента різної інтенсивності. Законмірність зміни інтенсивності характеризує характер і темп розвитку дефекту;

кількісною мірою появи і зростання дефекту обладнання може бути рівень і темп зміни спектральної щільності  $i$ -ї дільниці енергетичного спектра діагностичного сигналу, що є передумовою вибору методу безрозбірної оцінювання технічного стану обладнання.

#### Список літератури

1. Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тыришкин А.Н. Аналитические методы исследования систем. - М.: Сов. Радио, 1974. - 240 с.
2. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. -М.: Высшая школа, 1976. - 406 с.
3. Калиткин Н.Н. Численные методы. - М.: Наука, 1978. - 512 с.
4. Надежность и долговечность машин. / Под ред. Костецкого Б.И. К.: Техника, 1975. - 273 с.
5. Генкин М.Д, Соловьева А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987 -288 с.
6. Кіановський М.В. Діагностичне забезпечення технічного обслуговування та ремонту (ТОіР) гірничо-металургійного обладнання. Навчальний посібник. Кривий ріг. Видавництво ДВНЗ КНУ «Мінерал». 2016. С. 364.
7. Ченцов Н.А. Модели экспертно-диагностической системы технического обслуживания оборудования / Н.А.Ченцов, Г.В.Сопилкин, Е.В.Ошовская, //Прогрессивные технологии и системы машиностроения “Международный сб. научных трудов” Донецк, ДонГТУ, 1995г. Вып.№2, С.73 -82.
8. Биргер И.А. Техническая диагностика -М.: Машиностроение, 1978.-240 с.
9. Вибрация в технике (Справочник): В 6 т. / под ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1978-1981. Т.5,6: Измерение вибраций. - 481 с.
10. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. / Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И. – М.:Машиностроение, 1984. -120 с.

Рукопис подано до редакції 06.04.2021

УДК 78.016:331.45

М. В. ДОМНІЧЕВ, О. В. НЕСТЕРЕНКО, кандидати техн.наук, доценти,  
О. Ю. БЛИЗНЮКОВА, канд. техн.наук, Криворізький національний університет  
Я. В. МАЛЕНКО, канд.біол.наук, Криворізький державний педагогічний університет

### ЕЛЕМЕНТИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОСВІТИ

**Мета.** Метою даної роботи є проведення аналізу існуючих засобів і способів навчання, визначення основних небезпек та вибір моделей викладання матеріалу.

**Методи дослідження.** Теоретичний метод дослідження на основі обробки і інтерпретації статистики та порівняння ефективності запропонованих заходів.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є прикладне дослідження захисту людей від факторів вибухів.

**Практична значимість.** Запропоновано використання нових інструментів контролю якості освіти з метою покращення викладання прикладних дисциплін.

**Результати.** Вплив небезпечних факторів вибуху обумовлює різке погіршення стану здоров'я, втрату працездатності та несе загрозу життю людини. Особливо це стосується дітей і молоді.

Значну роль у зменшенні числа загиблих і поранених відіграє питання інформування населення про безпеку боєприпасів і вибухових пристроїв. Так само, навчання різних груп населення потребує використання різних методів, способів і засобів навчання.

Використання макетів та засобів інтерактивного навчання значно підвищує ефективність засвоєння матеріалів. Використання таких методів і засобів однаково ефективно працює з будь-якою аудиторією незалежно від віку, статі та рівня освіти.

Для збільшення ефективності навчання, пропонується використовувати візуальні інструменти, які можуть налякати – фотографії та відео фрагменти наслідків вибухів. В тому числі з фотографіями і відео постраждалих з різними травмами а також загиблих. Демонстрація наслідків вибуху, призводить до збільшення уваги слухача. В свою чергу, перегляд фото і видеоматеріалів з тяжкими пораненнями є шоком для слухача. Ми вважаємо, що в стані виведення слухачів з психологічної рівноваги, ефективність навчання зростає.