

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 681.518.5

Алтухова Т.В.

Індустріальний інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВУГЛЕДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ І ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ОПТИМАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

У статті розглядається питання доцільності застосування системи безперервного контролю та діагностики електромеханічного обладнання за фактичним станом порівняно з наявною й визначення оптимальної оцінки залишкового ресурсу устаткування в умовах вугледобувних підприємств з урахуванням мінімуму даних.

Ключові слова: діагностика електромеханічного обладнання, залишковий ресурс, система планово-попереджувального ремонту, технічний стан.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день з розвитком технічного прогресу все більш актуальним стає питання підвищення надійності електромеханічного обладнання (далі – ЕМО), тому дослідження технічного стану ЕМО з виявленням несправностей на ранній стадії їх розвитку та оцінювання залишкового ресурсу (далі – ЗР) є важливим завданням у галузі енергетики. У сучасних умовах на вугледобувних підприємствах об'єднується експлуатація застарілого обладнання з новітніми технологіями, для яких наявні методи виявлення дефектів не ефективні [1, с. 4–8]. Ще варто зазначити, що на вугледобувних підприємствах використовується значна кількість застарілого електромеханічного обладнання, паспортний строк використання якого вже майже минув, а це, у свою чергу, призведе до значних витрат на ремонт і технічне обслуговування.

У зв'язку з вищесказаним доволі значною проблемою є пошук новітніх технічних вирішень з діагностики електромеханічного обладнання та визначення залишкового ресурсу, що повною мірою забезпечить нормальну організацію технічного обслуговування, тому одним із перспективних методів вирішення цього питання є перехід від технічного обслуговування по регламенту або

у зв'язку з виходом з ладу ЕМО до обслуговування за фактичним станом.

Експлуатаційний ресурс електромеханічного обладнання визначається його характеристиками та фактичним режимом навантаження під час роботи [2]. У період експлуатації обладнання на підприємстві на ресурс значно впливає процес зношування його складових частин, тому розгляд основних закономірностей цього процесу й установлення залежностей надійності ЕМО від факторів, що негативно впливають на роботу, в реальних умовах експлуатації є важливим не тільки науковим, а й практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наявних публікацій виявив, що питанню використання різноманітних методів діагностики електромеханічного обладнання та оцінювання залишкового ресурсу в різноманітних галузях промисловості приділено достатньо уваги [4–6; 8], але це завдання на вугледобувних підприємствах не висвітлено достатньою мірою.

Постановка завдання. Головна мета публікації полягає в обґрунтуванні раціональної структури діагностування електромеханічного обладнання на вугледобувних підприємствах та оптимального оцінювання залишкового ресурсу ЕМО.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нині на вугледобувних підприємствах використовують низькоефективні системи планово-попереджувальних ремонтів (далі – ППР) та обслуговування щодо напрацювання електромеханічним обладнанням певного числа годин, які мають значні недоліки [3]:

- ремонти виконуються за сформованими графіками або після розрахунку напрацювання годин ЕМО;
- відсутність зручних інструментів планування ремонтних робіт;
- трудомісткість розрахунків трудовитрат;
- трудомісткість обліку параметрів;
- складність оперативного коректування запланованих ремонтів.

Ці недоліки, у свою чергу, призводять до ризику виникнення непланових ремонтів електромеханічного обладнання та значних втрат на підприємстві, тобто в результаті значних пошкоджень ЕМО виробництво необхідно зупинити на тривалий термін, так як системи планово-попереджувальних ремонтів займають багато часу. На вугледобувних підприємствах виникають значні втрати часу, зниження видобутку вугілля та економічні витрати, тоді як обслуговування на виправленому ЕМО також призведе до підвищення експлуатаційних витрат і втрат виробничого часу. На рисунку 1 зображена структура системи ППР електромеханічного обладнання на промислових підприємствах.

Незважаючи на те що зображена структура системи планово-попереджувального ремонту перед-

бачає безаварійну модель експлуатації та ремонту електромеханічного обладнання, на вугледобувних підприємствах на практиці доводиться враховувати й непланові ремонти. Їх причиною найчастіше є незадовільний технічний стан або ж аварія через неякісне технічне обслуговування.

У цьому випадку використання наявної системи планово-попереджувального ремонту ЕМО є не вигідним, тому необхідно створення системи обслуговування електромеханічного обладнання в умовах вугільних шахт за фактичним станом. Ця система має низку переваг:

- оптимізує матеріально-технічні витрати;
- зменшує втрати, що зумовлені запланованими простоями та необхідністю проведення незапланованих ремонтів ЕМО на підприємстві;
- запобігає виникненню аварійної ситуації, що призведе до тривалих ремонтів обладнання, або повному виходу з ладу.

На рисунку 2 зображена приблизна структура організації системи обслуговування за фактичним станом [4]. Вона розкриває сутність алгоритму проведення ремонтів електромеханічного обладнання за принципом безперервного діагностування та оцінювання залишкового ресурсу. Для реалізації цієї структури необхідно створювати новітні алгоритми діагностування, безперервну диспетчеризацію роботи електромеханічного обладнання й застосовувати сучасні технології та пристрої, що будуть урахувати поточний стан ЕМО на вугледобувному підприємстві.

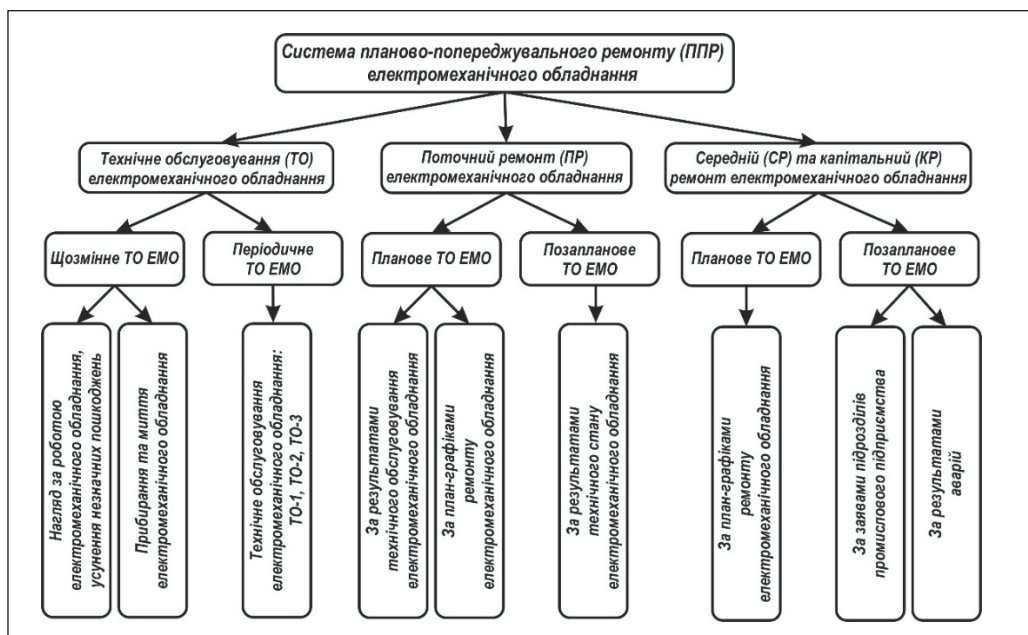


Рис. 1. Структура проведення ППР (за джерелом [3])

Діагностика ЕМО за цією структурою повинна проводитися на базі багатofакторного аналізу з урахуванням умов, за яких були зроблені виміри діагностичних параметрів.

У науковій праці [5] професор А.Е. Козярук та інші автори роботи пропонують використання системи діагностики та оцінювання залишкового ресурсу електромеханічного обладнання, що працює в тяжких умовах, за електричними параметрами, а саме на виникненні електромагнітної несиметрії поля робочої машини, в результаті чого відбувається зміна спектрального складу струмів і напруг. Окрім цього, як критерії для оцінювання енергетичних процесів, що відбуваються в ЕМО, використовують показник утрат потужності на пошкоджених частотах. Отже, в результаті аналізу в цій системі графіків сигналів стуму та потужності за певний період часу можливе виявлення пошкоджень обладнання й розпізнавання їх виду. Ця система базується на використанні штучних нейронних мереж і має низку переваг:

- можливість здійснювати безперервний контроль діагностуючих параметрів ЕМО та автоматично зберігати виміри в базі даних;
- зберігання значної кількості вимірюваних параметрів протягом тривалого терміну, що дасть

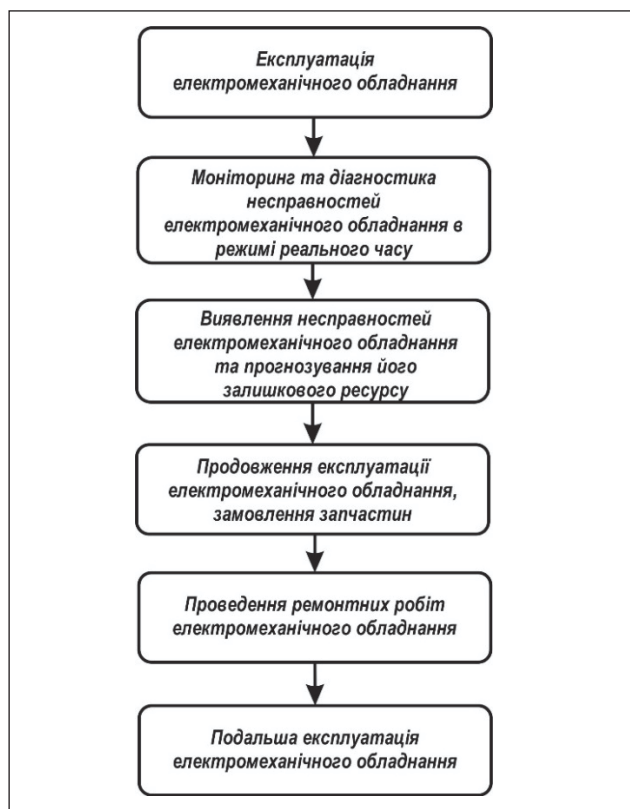


Рис. 2. Приблизна структура організації системи обслуговування за фактичним станом (за джерелом [4])

змогу визначати більш точні розрахунки залишкового ресурсу електромеханічного обладнання;

- полегшує завдання обслуговуючого персоналу, так як немає необхідності в переміщенні діагностичного обладнання до об'єкта;
- відстежувати динаміку виникнення несправностей ЕМО та їх розвиток у реальному часі;
- виявляти на ранній стадії несправності ЕМО;
- планувати раціональні строки проведення ремонтів;
- визначати залишковий ресурс з допомогою нейронних мереж.

Головний недолік – це діагностика і збирання параметрів однотипних машин і неможливість виявляти несправності в більш важких випадках.

У наступній роботі [6] авторами пропонується застосування системи діагностики для оцінювання технічного стану електромеханічного обладнання та залишкового ресурсу гірничотранспортного комплексу (ГТК) на відкритих виробках (кар'єрах) за електричними параметрами живлячого двигуна напруги із застосуванням бази даних несправностей на базі Fuzzy Logic.

Ці системи дають змогу в разі виникнення первинних ознак конкретного виду пошкодження шляхом виведення еталонних значень та отриманих на схожому обладнанні формувати звіт про технічний стан і залишковий ресурс електромеханічного обладнання, що діагностується. Але вони під час застосування на вугледобувних підприємствах з підземним видобутком корисної копалини будуть не ефективні, так як на підприємстві експлуатується значна кількість застарілого обладнання різного типу. Тому ж розглянуті системи враховують тільки електричні параметри обладнання, окрім цього, необхідно враховувати також і динамічні параметри ЕМО.

Однак у період контролю технічного стану електромеханічного обладнання необхідно також установлення строку його безпечної експлуатації, що на вугільних підприємствах має різноманітні аспекти, до яких зараховують, окрім самого діагностування ЕМО, методологію оцінювання залишкового ресурсу.

Ресурс електромеханічного обладнання визначається як сумарне напрацювання ЕМО від початку експлуатації або відновлення після ремонту до переходу в той стан, коли неможлива подальша експлуатація на підприємстві у зв'язку з нормами правил безпеки, економічності й ефективності [7, с. 511].

Визначення залишкового ресурсу залежить від вирішення таких завдань [4]:

- визначення поточного стану ЕМО, що експлуатується на підприємстві;
- виконання прогнозу майбутнього стану електромеханічного обладнання;
- оцінювання відмов ЕМО та ризику аварійних ситуацій під час експлуатації.

Авторами наукової праці [8] запропонована методика отримання оцінки ЗР індивідуально для кожного виробу, де точність визначення залежить від заданої ймовірності ψ .

Головною ознакою знаходження залишкового ресурсу в цій роботі є середній залишковий ресурс $\bar{T}(t_k)$, що визначається як очікування залишкового ресурсу після t_k , і гама-процентний залишковий ресурс $T_\gamma(t_k)$, що визначається як напрацювання ЕМО з моменту t_k до моменту, протягом якого електромеханічне обладнання, що працювало безвідмовно, буде мати значення умовної ймовірності безвідмовної роботи як γ та визначається з формули [8]:

$$\gamma = P \left[\frac{t_k + T_\gamma(t_k)}{t_k} \right], \quad (1)$$

Цей показник γ знаходиться за умови допустимого ризику кількості відмов електромеханічного обладнання.

В.І. Лук'яненко та співавтори [8] запропонували оцінку показників ЗР згідно з виразами: коли є відмови під час експлуатації

$$\hat{T}(t_k) \geq \frac{\hat{T} - t_k}{\hat{P}(t_k)}, \quad (2)$$

$$\hat{T}_\gamma(t_k) \geq \hat{T}_\gamma - t_k, \quad (3)$$

де $\hat{T}(t_k), \hat{T}_\gamma(t_k)$ – відповідно оцінка середнього та гама-процентного залишкового ресурсу;

\hat{T}, \hat{T}_γ – відповідно оцінка середнього та гама-процентного ресурсу.

У свою чергу, оцінка середнього ресурсу визначається [8]:

$$\hat{T} = T_o - \frac{1}{\hat{\lambda}_t}, \quad (4)$$

де T_o – напрацювання ЕМО до відмови;
 $\hat{\lambda}_t$ – оцінка інтенсивності відмов електромеханічного обладнання, що зберегли працездатність після назначеного часу t_k ;

$\hat{P}(t_k)$ – оцінка ймовірної безвідмовної роботи ЕМО за певний час t_k .

Коли відмов немає, то використовується вираз:

$$\hat{T}(t_k) \geq \hat{T}_{min} - t_k, \quad (5)$$

де \hat{T}_{min} – нижня оцінка середнього ресурсу та визначається згідно з виразом:

$$\hat{T}_{min} = T_o + \frac{1}{\bar{\lambda} + \frac{t_\gamma \cdot \sigma_{\bar{\lambda}}}{\sqrt{m}}}, \quad (6)$$

$\bar{\lambda}$ – середня інтенсивність відмов за певний період;

$\sigma_{\bar{\lambda}}$ – середнє квадратичне відхилення інтенсивності відмов;

t_γ – квантиль розподілення з числом степеневий свободи $k = m - 1$;

m – кількість відмов, які визначаються несприятливим поєднанням декількох факторів.

Недолік цієї методики в тому, що під час визначення залишкового ресурсу необхідно мати вихідні дані, тобто знати напрацювання об'єкта від початку експлуатації на підприємстві. Але коли під час прогнозування відсутні відомості про напрацювання електромеханічного обладнання від початку експлуатації або останнього капітального ремонту, залишковий ресурс визначається за показниками стану, що були встановлені під час діагностування та напрацювання між двома вимірами [9, с. 26].

У цьому випадку залишковий ресурс визначається за виразом [9, с. 27]:

$$P_{зал} = P'_{вик} \cdot \left[\frac{1}{\left(\frac{3_{II}}{3_{\kappa}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1} + 1 \right] \cdot \left[\left(\frac{3_{2p}}{3_{\kappa}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right], \quad (7)$$

де $P'_{вик}$ – ресурс об'єкта, що використаний за час роботи між двома перевірками;

$3'_{\kappa}$ – зміни значення параметра від початку експлуатації до першої перевірки;

$3''_{\kappa}$ – зміни значення параметра від початку експлуатації до повторної перевірки;

3_p – гранична зміна значення параметра;

α – коефіцієнт залежності параметрів технічного стану об'єкта від тривалості роботи.

Окрім визначення залишкового ресурсу, одним із показників надійності електромеханічного обладнання є строк служби, який також характеризує довговічність роботи обладнання, він визначається ресурсом [4]:

$$n_{емо} = \frac{R_n}{R_{сер.пів}}, \quad (8)$$

де R_n – нормативний 90% ресурс;

$R_{сер.пів}$ – середньорічне напрацювання ЕМО.

У цьому випадку залишковий ресурс електромеханічного обладнання вугледобувних підприємств необхідно розглядати як запас можливого напрацювання в імовірнісному аспекті. Тому, як правило, граничний стан ЕМО відповідає стану його складових частин і техніко-економічній доцільності їх відновлення для подальшої експлуатації в конкретних умовах вугільного підприємства.

Висновки. З вищесказаного можемо резюмувати таке:

1. Під час обслуговування електромеханічного обладнання вугледобувних підприємств доцільно використовувати систему безперервного контролю та діагностики замість наявної системи планово-попереджувальних ремонтів ЕМО, так як у разі виявлення на ранній стадії несправностей електромеханічного обладнання можна буде запобігти серйозному пошкодженню, що дуже важливо для підприємств гірничо-вугледобувного комплексу.

2. Під час створення системи безперервного контролю та діагностики електромеханічного

обладнання необхідно враховувати деякі фактори, а саме вибір методу прогнозування та оцінювання залишкового ресурсу з урахуванням мінімуму наявних даних, пов'язаних з об'єктом діагностування, яких іноді не вистачає, кількість типів ЕМО для діагностики несправностей, фактори негативного впливу на обладнання та інші параметри.

3. Для створення більш ефективної системи необхідно застосування технології штучного інтелекту, а саме об'єднати штучні нейронні мережі з Fuzzy Logic, що забезпечить більш продуктивне збирання діагностичної інформації про об'єкт та оцінку залишкового ресурсу.

4. Спектральний аналіз електромеханічного обладнання є ефективним методом у системі безперервного контролю та діагностики несправностей, але необхідно враховувати й динамічні параметри об'єктів. Тому їх об'єднання з використанням технологій штучного інтелекту, а саме штучних нейронних мереж і Fuzzy Logic, стане більш ефективним у разі виявлення пошкоджень та оцінки залишкового ресурсу ЕМО.

Список літератури:

1. Казак В.М., Доценко Б.І., Кузьмін В.П. Надійність та діагностика електрообладнання: навч. посіб. Київ: НАУ, 2013. 280 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
3. Павлович С.Н., Фираго Б.И. Ремонт и обслуживание электрооборудования: учеб. пособие. 4-е изд. Минск: Вышш. школа, 2009. 245 с.
4. Козярук А.Е., Кривенко А.В., Жуковский Ю.Л., Бабуринов С.В., Черемушкина М.С., Коржев А.А. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования машин и механизмов. Санкт-Петербург: Горный университет, 2013 г. 90 с.
5. Козярук А.Е., Жуковский Ю.Л., Бабуринов С.В., Коржев А.А., Кривенко А.В. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования, работающего в тяжелых условиях, по электрическим параметрам. Записки горного института. 2011. Т. 192. С. 161–166.
6. Таранов С.И. Тенденции в развитии систем управления и диагностики электромеханического оборудования горнотранспортного комплекса. Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). 2013. № 5. С. 46–47.
7. Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф., Быстрова Н.А., Галкин Д.И. Диагностика технических устройств. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 615 с.
8. Лукьяненко В.И., Воробьева Н.В., Воробьев Ю.В. Оценка остаточного ресурса технического оборудования в единичном исполнении. Вестник ТГТУ. 2012. Том 18. № 4. С. 1038–1041.
9. Каргашевич А.Н., Сапьяник Г.Н., Скадорва А.Ф. Техническое диагностирование машин: лекция. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2009. 32 с.

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ОПТИМАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

В статье рассматривается вопрос о целесообразности применения системы непрерывного контроля и диагностики электромеханического оборудования по фактическому состоянию по сравнению с существующей и определения оптимальной оценки остаточного ресурса оборудования в условиях угледобывающих предприятий с учетом минимума данных.

Ключевые слова: диагностика электромеханического оборудования, остаточный ресурс, система планово-предупредительного ремонта, техническое состояние.

**JUSTIFICATION OF RATIONAL STRUCTURE OF DIAGNOSTICS OF THE
ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT OF THE COAL-MINING ENTERPRISES
AND DEFINITION OF ITS OPTIMUM ESTIMATION OF THE RESIDUAL RESOURCE**

In this article the question of expediency of use of system of continuous monitoring and diagnostics of electromechanical equipment in accordance with the actual state in comparison with the existing one and determining the optimal estimate of the residual resource of equipment in coal-mining enterprises, taking into account the minimum data.

Key words: *diagnostics of electromechanical equipment, residual resource, system of planned and preventive repair, technical condition.*