ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧИХ РОБІТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ НА ОСНОВІ ДІАГНОСТУВАННЯ

В. Ю. Рамш, кандидат технічних наук, доцент

М. В. Потапенко, кандидат технічних наук, старший викладач

В. Л. Шаршонь, асистент

ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут"

E-mail: m.potapenko@i.ua

Анотація. Проблема розробки математичних методів підвищення ефективності організації ремонтно-обслуговуючих робіт потребує формулювання загальних принципів визначення їх фактичного стану в процесі експлуатації.

Для підвищення ефективності використання машин та електрообладнання технологічних систем необхідна оптимізація відновлювальних робіт на основі результатів діагностування, що забезпечить їх високу безвідмовність роботи та довговічність всіх елементів системи.

Основним завданням є визначення залишкового ресурсу, що дає можливість скоротити трудомісткість й вартість робіт, які виконуються при поточних ремонтах, встановлених лише за необхідністю; встановити терміни (періодичність) проведення діагностування.

Для оптимізації характеристик технологічних систем та засобів діагностування використано техніко-економічний критерій мінімуму Φ_d питомих витрат технологічної системи в цілому. При цьому враховують особливості елементів системи і методу діагностування, який впливає на сумарні питомі витрати.

Відносно діагностування сумарні витрати пов'язані з використанням засобів діагностування, витрат на їх виробництво та витрат, які викликані похибкою діагностування.

Керування технічним станом технологічних систем на основі визначення оптимального залишкового ресурсу кожного елемента дозволяє планувати ремонтно-відновлювальні роботи з використанням принципів системного аналізу. При цьому доцільним є одночасний ремонт елементів технологічної лінії, а тому витрати будуть розподілені між ними і тим самим буде знижена вартість ремонту кожного агрегату.

Сумісний ремонт технологічних установок, строки і об'єми яких визначаються методом співставлення інтервалів залишкового ресурсу всіх

складових технологічної лінії буде економічно ефективнішим від індивідуальних ремонтів окремих машин.

Отримані при даному методі оцінки, зокрема, можуть бути застосовані при плануванні ремонтно-обслуговуючих робіт технологічних систем.

Ключові слова: *технологічна лінія, відмова, діагностування, залишковий ресурс, техніко-економічний критерій, цільова функція*

Актуальність. Необхідною умовою забезпечення експлуатаційної надійності машин і обладнання технологічних систем, збереження їх працездатності та ефективної експлуатації протягом усього терміну служби визначеного їх конструктивними можливостями, підтримання рівня технічної оснащеності виробництва є технічне обслуговування і ремонт.

Розвиток систем технічного сервісу підприємств призвів до того, що з метою забезпечення стабільної роботи відбувається перебудова стратегії ремонтно-обслуговуючих робіт: від ремонту машин і обладнання, що вийшли з ладу, до недопущення їх відмов шляхом переходу від системи планово-запобіжних ремонтів до системи технічного обслуговування за фактичним станом за рахунок виключення необґрунтованих ремонтів обладнання технологічних ліній чи їх позапланових аварійних зупинок.

Проблема розробки математичних методів підвищення ефективності організації ремонтно-обслуговуючих робіт стосовно технологічних систем потребує формулювання загальних принципів визначення їх фактичного стану в процесі експлуатації.

Контроль технічного стану технологічних систем ґрунтується на правильній оцінці зміни діагностичних параметрів. Вибір діагностичних параметрів здійснюється на основі аналізу експлуатаційної нормативно-технічної документації, оцінки їх інформативності і доступності для засобів для діагностування [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для підвищення ефективності використання машин та електрообладнання технологічних систем необхідна оптимізація відновлювальних робіт на основі результатів діагностування, що

забезпечить їх високу безвідмовність роботи та довговічність всіх елементів системи.

Вирішення цих проблем зводиться до усунення раптових та поступових відмов.

Раптові відмови можна попередити за допомогою покращення конструктивних рішень, а поступові – проведенням планово-запобіжних заходів технічного обслуговування [2].

Основним завданням є визначення залишкового ресурсу обладнання, що дає можливість скоротити трудомісткість й вартість робіт, які виконуються при поточних ремонтах, встановлених лише за необхідністю; встановити терміни (періодичність) проведення діагностування [1].

Мета дослідження – розробка математичних методів оцінки техніко-економічної ефективності проведення ремонтно-обслуговуючих робіт технологічних ліній на основі визначення оптимального залишкового ресурсу.

Матеріали і методи дослідження. Ефективність використання машин і обладнання ґрунтується на порівнянні витрат, які необхідні для підвищення надійності та отриманого економічного ефекту [3]. Оптимізацію ремонтно-обслуговуючих робіт доцільно проводити за інформаційним критерієм, який передбачає поділ робіт на два види.

До першого виду робіт відносяться ті, в яких відома апріорна інформація про обладнання технологічних систем, яка представлена як функція розподілу часу безвідмовної роботи $F(t) = P(T < t)$, де T - випадкова величина напрацювання на відмову.

Цьому виду відповідає стратегія робіт з напрацювання, яка передбачає проведення робіт заздалегідь визначеного об'єму через фіксовані, попередньо розраховані інтервали напрацювання T_n . Ведення планово-запобіжних робіт оптимізується на основі критерію мінімуму експлуатаційних витрат [6].

Ефективність оцінки технічного стану технологічних ліній в значній мірі визначається якістю отриманої діагностичної інформації. Зменшення трудомісткості

технічного діагностування скорочує простої обладнання, а також затрати праці на його проведення.

Підвищення точності визначення діагностичних параметрів призводить до збільшення ймовірності проведення необхідних операцій технічного обслуговування і ремонту машин та електрообладнання.

Результати досліджень та їх обговорення. Для оптимізації характеристик технологічних систем та засобів діагностування необхідно використовувати техніко-економічний критерій [6]. При цьому необхідно враховувати особливості елементів системи і методу діагностування, який впливає на сумарні питомі витрати.

Відносно діагностування сумарні витрати пов'язані з використанням засобів діагностування, витрат на їх виробництво та витрат, які викликані похибкою діагностування. Тому цільова функція сумарних витрат на вимірювання i -го структурного параметру буде мати вид:

$$C_{ijkl}(T, \sigma) = [C_{ijk}(T) + B_{ijkl}(T, \sigma)] + [C_{ijkl}^c(\sigma) + C_{ijkl}^p(\sigma)]; \quad (1)$$

де T - оперативна трудоємність діагностування; σ - середня квадратична похибка вимірювання структурного параметра стану; $C_{ijk}(T)$ - питомі витрати, які пов'язані із забезпеченням контролепридатності об'єкта по j -му варіанту при k -му методі діагностування; $B_{ijkl}(T, \sigma)$ - питомі витрати на безпосереднє вимірювання i -го параметра стану при l -му засобі діагностування; $[C_{ijkl}^c(\sigma) + C_{ijkl}^p(\sigma)]$ - витрати, які виникають із-за похибки вимірювання стану та прогнозування технічного ресурсу обладнання.

При необхідності оптимізації за всіма структурними параметрами цільова функція буде мати вид:

$$C_{ijkl}(T, \sigma) = \left\{ \sum_{i=1}^n [C_{ijk}(T) + B_{ijkl}(T, \sigma)] + \sum_i^{n_1} C_{ijkl}^c(\sigma) + \sum_{i=n_1+1}^n C_{ijkl}^p(\sigma) \right\} \rightarrow \min \quad (2)$$

де n і n_1 - відповідно число параметрів, які порівнюють з допустимим значенням та число прогнозованих параметрів для визначення залишкового ресурсу обладнання.

Прогнозування залишкового ресурсу для обладнання технологічних систем має велике значення, тому що ремонт однієї машини в більшості випадків призводить до зупинки всієї лінії.

Для визначення складових цільової функції необхідно використовувати такі формули:

$$C(T) = \Delta B \left(\mathcal{U} + \mathcal{Z}_{mp} \right) \frac{t_k}{t_p}, \quad (3)$$

де ΔB - приріст балансної вартості обладнання, який пов'язаний із забезпеченням контролепридатності; $\mathcal{U}, \mathcal{Z}_{mp}$ - частки балансної вартості, які витрачаються на амортизацію і експлуатацію засобів діагностування; t_k, t_p - міжконтрольне і середньорічне напрацювання обладнання.

$$B(T, \sigma) = \left[T(b_1 k + A / n_q) + B(\mathcal{U} + \mathcal{Z}_{mp}) / Q \right] \frac{t_k}{t_p}, \quad (4)$$

де b_1 - погодинна ставка працівників, які проводять діагностування; k - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну плату і загальногосподарські витрати; A - середні витрати від простою технологічної лінії протягом години; n_q - число працівників, що проводять діагностування; B - балансна вартість засобів діагностування; Q - продуктивність засобів діагностування за рік.

Для більш якісного планування робіт необхідна інформація про поточний стан обладнання, який представляється як функція зміни його основного характеризуючого параметра.

У результаті вдосконалення засобів діагностування з'явилась можливість отримання даних про параметри, які характеризують стан об'єктів без їх розбирання. Тому керування технічним станом технологічних систем на основі визначення оптимального залишкового ресурсу кожного елемента дозволяє планувати ремонтно-відновлювальні роботи з використанням принципів системного аналізу [5, 6]. При цьому доцільним є одночасний ремонт елементів технологічної лінії, а тому витрати будуть розподілені між ними і тим самим буде знижена вартість ремонту кожного агрегату.

Доцільність одночасного ремонту потрібно визначати на основі техніко-економічного критерію мінімуму $\varphi_{\text{л}}$ питомих витрат технологічної системи в цілому.

Функція питомих витрат для елемента технологічної лінії буде мати вигляд:

$$\varphi_i(t_{\text{заг.і}}) = \frac{\{A_i \cdot Q_i \cdot (t_{\text{заг.і}}) + C_i \cdot [1 - Q_i \cdot (t_{\text{заг.і}})]\}}{t_{\phi} \cdot (t_{\text{заг.і}})}, \quad (5)$$

де A_i - витрати на аварійний ремонт; C_i - втрати внаслідок простою обладнання; Q_i - відносна вартість обмінного фонду запасних частин; $t_{\text{заг.і}}$ - вектор i -та координата якого задає залишковий ресурс; t_{ϕ} - фактичне напрацювання до моменту контролю.

При організації сумісного ремонту i -ї складової частини з $k-1$ іншими, величина втрат на аварійний ремонт A_{ki} буде тим менша, чим більше значення елементів k , які одночасно ремонтуються. Знаючи зміну функції $\varphi_i(t_{\text{заг.і}})$ при різних значеннях A_{ki} можна визначити $t_{k.\text{зал.мін}}$ і $t_{k.\text{зал.мак}}$. Якщо $t_{\text{зал.л}}$ буде в межах $t_{k.\text{зал.мін}}$, $t_{k.\text{зал.мак}}$, то при проведенні сумісних ремонтів i -ї складової лінії разом з $k-1$ інших складових, питомі витрати $\varphi_{\text{л}}(t_{\text{заг.л}})$ будуть в межах мінімуму.

Відновлення номінальних значень параметрів обладнання технологічних систем обумовлює проведення капітального ремонту або його заміну.

Висновки і перспективи. Проблема розробки математичних методів визначення техніко-економічної ефективності організації ремонтно-обслуговуючих робіт стосовно технологічних систем, потребує формулювання загальних принципів визначення їх фактичного стану в процесі експлуатації.

Сумісний ремонт технологічних установок, строки і об'єми яких визначаються методом співставлення інтервалів залишкового ресурсу всіх складових технологічної лінії буде економічно ефективнішим від індивідуальних ремонтів окремих машин.

Отримані при даному методі оцінки, зокрема, можуть бути застосовані при плануванні ремонтно-обслуговуючих робіт технологічних систем.

Список літератури

1. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
2. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев – М.: Либроком, 2013. – 584 с.
3. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
4. Медведєв М. Г. Теорія ймовірностей та математична статистика / М. Г. Медведєв, І. О. Пашченко – К.: «Ліра-К», 2008. – 536 с.
5. Мозгалеvський А. В. Вопросы проектирования систем диагностирования / А. В. Мозгалеvський, А. Н. Койда – Л.: Энергоатомиздат: Ленинградское отделение, 1985. – 112 с.
6. Телков Ю. К. Системный анализ и методология автоматического проектирования непрерывных технологических производств / Ю. К. Телков – М.: Академия народного хозяйства, 1978. – 159 с.

References

1. Bolotin, V. V. (1984). Prognozirovaniye resursa mashin i konstruksiy [Prediction of the resource of machines and structures]. Moscow: Mashinostroenie, 312.
2. Gnedenko, B. V., Belyaev, Y. K., Solov'ev, A. D. (2013). Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti: Osnovnye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskiy analiz [Mathematical methods in the theory of reliability: The main characteristics of reliability and their statistical analysis]. Moscow: Librokom, 584.
3. Druzhinin, G. V. (1986). Nadezhnost' avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem [Reliability of automated manufacturing systems]. Moscow: Ehnergoatomizdat, 480.
4. Medvediev, M. H., Pashchenko, I. O. (2008). Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics]. Kyiv: «Lira-K», 536.
5. Mozgalevs'kiy, A.V., Koyda, A.N. (1985). Voprosy proektirovaniya sistem diagnostirovaniya [Diagnostic system design issues]. Leningrad: Ehnergoatomizdat: Leningradskoe otdelenie, 112.
6. Telkov, Y. K. (1978). Sistemnyy analiz i metodologiya avtomaticheskogo proektirovaniya nepreryvnykh tekhnologicheskikh proizvodstv [System analysis and methodology for the automatic design of continuous technological production]. Moscow: Akademiya narodnogo khozyaystva, 159.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩИХ РАБОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В. Ю. Рамиш, Н. В. Потапенко, В. Л. Шаршонь

Аннотация. Проблема разработки математических методов повышения эффективности организации ремонтно-обслуживающих работ требует

формулирования общих принципов определения их фактического состояния в процессе эксплуатации.

Для повышения эффективности использования машин и электрооборудования технологических систем необходима оптимизация восстановительных работ на основе результатов диагностирования, которая обеспечит их высокую безотказность работы и долговечность всех элементов системы.

Основной задачей является определение остаточного ресурса, что позволяет сократить трудоемкость и стоимость работ, выполняемых при текущих ремонтах, установленных только при необходимости; установить сроки (периодичность) проведения диагностирования.

Для оптимизации характеристик технологических систем и средств диагностирования использовано технико-экономический критерий минимума Φ_d удельных затрат технологической системы в целом. При этом учитывают особенности элементов системы и метода диагностирования, который влияет на суммарные удельные затраты.

Относительно диагностирования суммарные затраты связаны с использованием средств диагностирования, расходами на их производство и расходами, вызванными погрешностью диагностирования.

Управление техническим состоянием технологических систем на основе определения оптимального остаточного ресурса каждого элемента позволяет планировать ремонтно-восстановительные работы с использованием принципов системного анализа. При этом целесообразно одновременное проведение ремонта элементов технологической линии, а потому расходы будут распределены между ними и тем самым будет снижена стоимость ремонта каждого агрегата.

Совместимый ремонт технологических установок, сроки и объемы которых определяются методом сопоставления интервалов остаточного ресурса всех составляющих технологической линии, будет экономически эффективнее индивидуальных ремонтов отдельных машин.

Полученные при данном методе оценки, в частности, могут быть применены при планировании ремонтно-обслуживающих работ технологических систем.

Ключевые слова: технологическая линия, отказ, диагностирование, остаточный ресурс, технико-экономический критерий, целевая функция

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF CARRYING OUT REPAIR AND MAINTENANCE WORKS OF TECHNOLOGICAL LINES ON THE BASIS OF DIAGNOSTIC

V. Ramsh, M. Potapenko, V. Sharshon

Abstract. The problem of developing mathematical methods for improving the efficiency of the organization of repair and maintenance work requires the formulation of general principles for determining their actual state in the process of operation.

In order to increase the efficiency of the use of machines and electrical equipment of technological systems, the optimization of restoration works based on the results of

diagnostics is necessary, which will ensure their high trouble-free operation and durability of all elements of the system.

The main task is to determine the residual resource, which makes it possible to reduce the complexity and cost of the work that is carried out during ongoing repairs, installed only when necessary; set the timing (periodicity) of diagnosis.

To optimize the characteristics of technological systems and diagnostic tools used the technical and economic criterion of the minimum unit costs φ_1 of the technological system as a whole. In this case, take into account the features of the elements of the system and the diagnostic method, which affects the total unit costs.

Regarding diagnosis, the total costs associated with the use of diagnostic tools, the costs of their production and expenses caused by the error of diagnosis.

Management of the technical condition of technological systems based on determining the optimal residual life of each element allows you to plan repair and restoration work using the principles of system analysis. At the same time, it is advisable to simultaneously repair the elements of the production line, and therefore the costs will be distributed between them and thereby the cost of repair of each unit will be reduced.

Compatible repair of technological installations, the terms and volumes of which are determined by comparing the intervals of the residual life of all components of the technological line, will be more cost-effective than individual repairs of individual machines.

The estimates obtained with this method, in particular, can be used in the planning of repair and maintenance work of technological systems.

Key words: *technological line, failure, diagnosis, residual resource, technical and economic criterion, target function*