

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Розглянуто стан, проблеми і перспективи розвитку системи технічного обслуговування промислового обладнання. Запропонована методика технічного обслуговування дає можливість удосконалення системи технічного обслуговування обладнання на виробничих підприємствах шляхом моделювання оцінки показників її надійності. Методика базується на аналізі експлуатаційної надійності з врахуванням фактичного технічного стану промислового обладнання та напруженості роботи підприємства.

Ключові слова: обладнання, технічний стан, система технічного обслуговування, надійність.

MODELLING OF ASSESSMENT OF RELIABILITY INDICATORS OF INDUSTRIAL EQUIPMENT MAINTENANCE SYSTEM

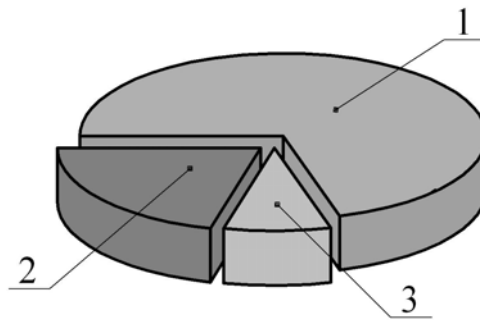
Abstract – Economic efficiency of work of the industrial enterprises depends on a technical condition, quality of functioning and operation of processing equipment. Matter of topical interest is further improvement of maintenance system of industrial equipment which is a basis of improvement of the organization and planning of rescue and recovery operations, for the keeping of industrial equipment in working condition with the maximum service life. Important is not only place and cause of failure definition, but also a forecast of probability of its emergence, knowledge of these equipment failures and possibility to give them much more attention by inspection, service and equipment operation. The technique of industrial equipment maintenance, developed on basis of analysis of equipment failures and changes of parameters of technical condition of equipment components taking into account the actual technical condition of the industrial equipment and intensity of work of the enterprise is considered. The offered technique enables improvements of equipment maintenance system at manufacturing enterprises by modelling of assessment of indicators of its reliability. Planned inspections and preventive repair are a source of statistical operational information which allows forecasting service life of the equipment and its multipart assemblies.

Key words: equipment, technical condition, system technical maintenance, reliability.

Вступ

Економічна ефективність роботи промислових підприємств залежить від технічного стану, якості функціонування та експлуатування технологічного обладнання. В даний час на промислових підприємствах отримали широку популярність два види технічного обслуговування обладнання, а саме обслуговування після його виходу з ладу та обслуговування згідно діючої в даний час єдиної системи планово-попереджувального ремонту та експлуатування промислового технологічного обладнання підприємств (система ППР). Однак ці обидва види не є задовільними. У випадку необхідності ремонту обладнання після його непередбачуваної поломки та виходу з експлуатування на деякий час підприємства несуть значні економічні витрати через його зупинку. Особливо це актуально для потокового виробництва, коли вихід з ладу однієї одиниці обладнання приводить до зупинки всього технологічного процесу. Використання на промислових підприємствах системи ППР, на якій базується організація робіт з ремонту і обслуговування обладнання, довгий час залишається не змінною, незважаючи на те, що протягом останніх років парк промислового обладнання у промисловості змінився, а структура обладнання ускладнилася якісно та кількісно. Зокрема терміни та об'єми ремонтно-попереджувальних робіт залишаються регламентованими та не враховують тривалості фактичного експлуатування обладнання в умовах не завжди стабільної роботи підприємств або їх перевантажень, реальний технічний стан, яких залежить від ступеня зношеності обладнання та фізичного старіння. Під час експлуатування процес фізичного зношування обладнання відбувається постійно, але нерівномірно в окремі періоди часу роботи кожної одиниці обладнання. Системою планово-попереджувального ремонту недостатньо враховані два досить вагомні фактори, такі як напруженість режимів роботи промислового технологічного обладнання та вимоги, щодо характеристик точності обладнання. Тривалість міжремонтних періодів залежить не від типу виробництва, в якому обладнання експлуатується, а перш за все від інтенсивності його зношування, що визначається напруженістю режимів роботи промислового обладнання. В правилах ППР обумовлений однаковий підхід щодо організації обслуговування та ремонту нового обладнання та обладнання, яке експлуатується тривалий термін, що створює певну необ'єктивність. При проведенні дефектування не враховується той факт, що надійність окремих вузлів завдяки вдосконаленню та модернізації конструкції, технології виготовлення та їх ремонту безперервно змінюються. Як наслідок, все це відображається на стані безпечного експлуатування промислового обладнання.

Порівняльний аналіз причин нещасних випадків на виробництві за 2010 рік свідчить про те, що 19% нещасних випадків відбулися з технічних причин. Зокрема серед найпоширеніших технічних причин нещасних випадків пов'язаних з виробництвом є незадовільний технічний стан обладнання [1]. Протягом останніх років ситуація суттєво не змінилася.



1 – організаційні причини, 70%; 2 – технічні причини, 19%; 3 – психофізіологічні причини, 11%
Рис. 1. Причини виникнення нещасних випадків у промисловості у 2010 р.

Формулювання цілей

Вказані недоліки в обслуговуванні обладнання та фактори впливу обумовлюють розроблення методики технічного обслуговування промислового обладнання, яка б їх враховувала. Швидкий розвиток у техніці та технологій сучасного промислового виробництва, кількісні та якісні зміни в промисловому обладнанні, вимоги, що постійно підвищуються до його технічного стану, особливо до надійності та точності вимагають вдосконалення даної системи. Тому актуальним є подальше вдосконалення системи технічного обслуговування промислового обладнання, яка є основою покращення організації та планування ремонтно-відновних робіт і спрямована на підтримання промислового обладнання в справному робочому стані з максимальним терміном їх експлуатування. Науково обгрунтоване планування ремонтних робіт повинно полягати в прогнозуванні часу втрати продуктивності обладнання. Отже, структура ремонтного циклу повинна бути більш гнучкою і диференційованою, ніж це передбачено системою ППР. Важливо не тільки визначити місце виникнення поломки та причину відмови, але і передбачити ймовірність її виникнення, знати ці відмови і приділяти їм більше уваги при огляді, обслуговуванні та експлуатуванні обладнання.

Аналіз стану досліджень та публікацій

Пошуками раціональних форм і методів технічного обслуговування промислового обладнання зайняті багато наукових установ та підприємств країни. Зокрема заслуговує уваги система регламентованого профілактичного технічного обслуговування обладнання розроблена Горчуковим К.А., Пустотіним Л.С., Піткевичем М.І. [2]. Для розроблення оптимальної системи технічного обслуговування та ремонту, розрахунку кількості інструменту та необхідних запасних частин недостатньо знати тільки деякі числові характеристики випадкових величин, наробіток до відмови або граничного стану обладнання та час відновлення роботи обладнання [3]. Тому завдання оцінки надійності ґрунтується на виборі закону розподілу, наприклад, наробіток до відмови за результатами випробувань або експлуатування виробів та в оцінюванні їх параметрів з наступною оцінкою показників надійності. Але при аналізі результатів спостережень вибір закону розподілу наробіток до відмови на основі дослідження фізичних закономірностей виникнення відмов буває дуже складним або неможливим. Дану систему регламентованого профілактичного технічного обслуговування обладнання можна розглядати, як доповнення до системи планово-попереджувальних ремонтів. В роботі [4] на основі завдання оптимізації системи технічного обслуговування розроблена методика розрахунку необхідної кількості запасних частин для складного технологічного обладнання в період їх нормального експлуатування. Проте до останнього часу не розроблена науково обгрунтована і практично прийнятна система технічного обслуговування промислового обладнання.

Виклад основного матеріалу

У прикладних дослідженнях використовують статистичні дані різних видів. Це пов'язано, зокрема зі способами їхнього одержання. Якщо випробування деяких технічних об'єктів тривають до певного моменту часу, то одержуємо так звані цензуровані дані, що складаються з набору чисел — тривалості роботи ряду об'єктів до відмови і інформації про те, що інші об'єкти продовжували працювати в момент закінчення випробування [5].

Розглядається методика технічного обслуговування промислового обладнання, яка розроблена на основі аналізу даних відмов і змін параметрів технічного стану складових елементів обладнання. Інформація про надійність виробів, яка отримана під час їх експлуатування на відміну від результатів випробувань являє собою результат пасивного експерименту [6, 8]. Результатом підконтрольного експлуатування є неоднорідна інформація з точки зору математичної статистики. Неоднорідність в даному випадку полягає в тому, що отримувана інформація складається частково з випадкових наробіток до відмови та частково з наробіток виробів, які не відмовили в роботі до моменту збору інформації або відмовивших з причин, які не являються об'єктом досліджень. З іншого боку така ж неоднорідність виникає при випробуваннях на надійність обмеженої тривалості з заміною виробів, які відмовили. Не достатньо визначені вибіркові дані в математичній статистиці називаються цензурованими справа [7], які викликані різними випадковими подіями, що не пов'язані з технічним станом досліджуваного виробу.

В наслідок проведення аналізу методів статистичної обробки цензурованих даних виявилось, що

найбільш часто використовуються в розрахунках надійності експоненціальний закон розподілу, Вейбулла, логарифмічно-нормальний та нормальний. Вибір закону розподілу і попередньої оцінки його параметрів можна виконати методом, що базується на графічному представленні результатів спостережень. Отримані оцінки параметрів розподілу цензурованих даних підлягають уточненню методом максимальної правдоподібності [7].

Методи статистичної обробки цензурованих даних базуються на принципі статистичної незалежності наробіток до відмови та до цензурування, тобто цензурований наробіток не повинен залежати від технічного стану виробу.

Відмови та цензурування вважаємо випадковими подіями, що відбуваються по незалежних один від одного причинах. Кожній з цих подій відповідає своя випадкова величина – наробіток від відмови або цензурування з своїм законом розподілу. Проте підконтрольне експлуатування кожного виробу проводиться або до відмови, або до закінчення заданого терміну. Тому відмова та цензурування в даному випадку несумісні випадкові величини, які утворюють повну групу. Результатом спостереження є тільки менше вибіркоче значення однієї з двох випадкових величин: наробіток до відмови або до цензурування.

Графічний метод оцінювання застосовується для всіх законів розподілу, відповідно до яких може бути підібрано таке перетворення координат, при якому графік функції розподілу стає прямою лінією. В основі методу лежить функція накопиченої інтенсивності $r(t)$, яка визначається, згідно [9]:

$$r(t) = -\ln[1 - F(t)], \quad (1)$$

де $F(t)$ – функція розподілу (ймовірність відмови протягом заданого періоду);
 t – час.

Методика базується на аналізі експлуатаційної надійності. Результатом підконтрольної експлуатації N виробів є випадкові наробітки до відмов $t_i (i = 1, 2, \dots, d)$ та цензуровані наробітки $t_i (d + 1, d + 2, \dots, N)$. При цьому можливі випадки декількох відмов або декількох цензурувань в одній точці:

$$\tau_1(a_1, b_1) < \tau_2(a_2, b_2) < \dots < \tau_j(a_j, b_j) < \dots < \tau_k(a_k, b_k), \quad (2)$$

де a_j, b_j – число відмов та цензурувань відповідно в точці $\tau_j (j = 1, 2, \dots, k)$, враховуючи

$$\sum_{j=1}^k (a_j + b_j) = N;$$

k – загальне число різних наробіток у вибірці.

Оскільки вибіркоче функція (2) є досить громіздкою, тому її безпосереднє представлення є ускладненим. Однак її можна представити у вигляді вибіркової умовної щільності розподілу в околі τ_j при умові, що до цього відмов не було. Дана умовна щільність називається інтенсивністю відмов:

$$\lambda(\tau_j) = \frac{a_j}{\left[N - \sum_{l=0}^{j-1} (a_l + b_l) \right] (\tau_j - \tau_{j-1})}. \quad (3)$$

Як відомо [9], інтенсивність відмов $\lambda(\tau_j)$ пов'язана з функцією розподілу та відповідно з накопиченою інтенсивністю $r(t)$. Тому вибіркоче значення накопиченої інтенсивності можна визначити з формули:

$$r(\tau_j) = \sum_{l=1}^j \frac{a_l}{N - \sum_{m=0}^{l-1} (a_m + b_m)}. \quad (4)$$

Для більшості використовуваних в теорії надійності однопараметричних та двопараметричних розподілів отримуються лінійні залежності загального виду, які відповідають найбільш поширеним в теорії надійності законам розподілу:

$$\psi(\tau) = c + hg[r(\tau)], \quad (5)$$

де c, h – параметри розподілу, які визначають відповідно значення зсуву та нахилу побудованої прямої;

$\psi(\tau), g[r(\tau)]$ – функції наробіток до відмови та накопиченої інтенсивності відповідно.

Залежність (5) дає можливість графічного представлення результатів спостережень підконтрольного експлуатування виробів у вигляді ламаної лінії. Якщо отримана ламана лінія розмістилась вздовж деякої прямої, то вибраний закон розподілу вважається таким, що не суперечить результатам спостережень. При відсутності апіорних даних про закон розподілу слід будувати графіки для декількох законів та вибирати той, графік якого найкраще апроксимується лінійною залежністю.

Вибір закону розподілу графічним методом доцільно проводити керуючись мірою близькості вибіркової залежності між ψ_j та g_j до лінійної. В якості цієї міри можна використати вибіркочий

коефіцієнт кореляції ρ між вказаними функціями, оскільки коефіцієнт кореляції є мірою лінійної залежності випадкових величин [10]:

$$\rho = \frac{\sum \psi_j g_j - \frac{1}{k - k_0} (\sum \psi_i) (\sum g_i)}{\sqrt{\left[\sum \psi_j^2 - \frac{1}{k - k_0} (\sum \psi_j)^2 \right] \left[\sum g_j^2 - \frac{1}{k - k_0} (\sum g_j)^2 \right]}} \quad (6)$$

де $k_0 = 0$.

При виборі закону розподілу слід визначити значення вибірових коефіцієнтів кореляції для різних законів розподілу та віддати перевагу закону, для якого ці значення є більшими. Параметри розподілу c та h вибраного закону розподілу можна визначити використовуючи метод найменших квадратів. При цьому немає необхідності безпосереднього графічного представлення вибірових даних.

Для оцінювання надійності достатньо мати не менше 20% виробів, які відмовили у вибірці, оскільки в більшості випадків цікавою є область, яка відповідає ймовірності безвідмовної роботи не менше 0,8. Отримане оцінювання надійності слід вважати попереднім. Уточнити її можна методом максимальної правдоподібності, умовою застосування якого є знання виду розподілу наробіток до відмови, тобто $f(t)$ та функції розподілу $F(t)$. Суть якого базується на знаходженні оцінювань параметрів, яким відповідає максимум вибіркової функції правдоподібності. Цією функцією в даному випадку може бути похідна вибірових щільностей всіх спостережень наробіток до відмови та ймовірностей безвідмовної роботи всіх спостережених цензурованих наробіток. Шукане оцінювання є розв'язком системи рівнянь, які отримані прирівнюванням до нуля часткових похідних від логарифма функції правдоподібності по параметрам, що оцінюються. Така система рівнянь може бути розв'язана наближено [7].

Отже, вирішення задачі оцінки ймовірності безвідмовної роботи складових частин обладнання проводиться наступними стадіями:

1. Вибір закону розподілу;
2. Попередня оцінка параметрів розподілу методом найменших квадратів;
3. Уточнення отриманих результатів методом максимальної правдоподібності;
4. Оцінка показників надійності роботи складових частин промислового обладнання.

Збір статистичних експлуатаційних даних та промислові експерименти по удосконаленню системи технічного обслуговування промислового обладнання проводилися на філії ТОВ з іноземними інвестиціями «Спілловєр. Шкіряний завод», м. Івано-Франківськ. Дана методика оброблення експлуатаційних даних, рис. 2, сприяє удосконаленню стратегії технічного обслуговування з врахуванням фактичного технічного стану промислового обладнання підприємства.



Рис. 2. Методика технічного обслуговування промислового обладнання

Впровадження даної методики на ТОВ з П «Спілловєр» дозволило оперативно, без зайвого розбирання промислового обладнання прогнозувати різні дефекти складових його частин, що підвищило

економічну ефективність роботи підприємства. На підприємстві ведуться роботи по програмній реалізації методу розрахунку показників надійності та якості системи технічного обслуговування промислового обладнання, для вирішення завдань оптимізації термінів технічного обслуговування об'єктів з різною природою відмов.

Висновки

Описана методика оцінювання показників надійності системи технічного обслуговування являє собою подальший розвиток діючої в даний час системи планово-попереджувального ремонту і експлуатації промислового технологічного обладнання підприємств з врахуванням таких факторів, як складність обладнання, вік обладнання та напруженість виробництва. Планові огляди і регламентовані ремонти служать джерелом експлуатаційної інформації, яка дозволяє прогнозувати термін роботи обладнання і його складових вузлів. Це забезпечує безперебійну роботу, точність, експлуатаційну надійність і необхідну продуктивність роботи обладнання. Правильна організація технічного обслуговування промислового обладнання на підприємствах сприяє покращенню якості роботи з замовниками, що підвищує їх зацікавленість до підприємства та забезпечує стабільну його роботу та прибутки.

Література

1. Про стан промислової безпеки в Україні у 2010р.: за даними Держгірпромнагляд : <http://dnop.gov.ua>
2. Косимов А.М. Совершенствование ремонтного производства на предприятии /А.М. Косимов. - М.: Машиностроение, 1985. – 375 с.
3. Марфа Э. От просто ремонта - к управлению жизненным циклом обслуживания / Эдвард Марфа // САПР и графика. – 2012. - №12. – с. 71-73.
4. Росляков В.И. Оптимизация систем технического обслуживания и обеспечение работоспособности бытовой техники / В.И. Росляков // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2010. - №1(11). - с. 24-28.
5. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. - М.: Мир, 1969. – 305 с.
6. Надёжность в технике. Термины и определения: ГОСТ 13377-75. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 21 с.
7. Бартковський В.В. Теорія ймовірностей та математична статистика / В.В. Бартковський. - К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 424 с. - ISBN966-364-338-2.
8. Надёжность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Основные положения: ГОСТ 16468-70. – М.: Издательство стандартов, 1970. – 23 с.
9. Агапов А.С. Графический метод оценки надёжности по прогрессивно цензурированной эксплуатационной информации. Материалы к краткосрочному семинару «Методы статистического анализа и обработки малого числа наблюдений при контроле качества и надёжности приборов и машин», Л.: ЛДНТП, 1974.
10. Кендалл М.Дж. Статистические выводы и связи / М.Дж. Кендалл, А.М. Стьюарт. – М.: Наука, 1973.

References

1. Pro stan promyslovoi bezpeky v Ukraini u 2010r.: za danymy Derzhhirpromnahliad : <http://dnop.gov.ua>
2. Kosymov A.M. Sovershenstvovanye remontnoho proyzvodstva na predpriyatyy /A.M. Kosymov. - M.: Mashynostroenye, 1985. – 375s.
3. Marfa Э. Ot prosto remonta - k upravleniyu zhyznennym tsyklom obsluzhyvaniya / Эдвард Марфа // SAPR y hrafyka. – 2012. - №12.– s. 71-73.
4. Rosliakov V.Y. Optymyzatsiya system tekhnicheskoho obsluzhyvaniya i obespechenye rabotosposobnosti bytovoi tekhniky / V.Y. Rosliakov // Tekhnyko-tekhnolohicheskye problemy servysa. – 2010. - №1(11). - s. 24-28.
5. Khan H. Statysticheskye modely v ynzhenernykh zadachakh / H. Khan, S. Shapyro. - M.: Myr, 1969. – 305 s.
6. Nadyozhnost v tekhnike. Termyny i opredeleniya: HOST 13377-75. – М.: Yzdatelstvo standartov, 1975. – 21 s.
7. Bartkovskiy V.V. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka / V.V. Bartkovskiy. - K.: Tsentr navchalnoi literatury, 2006. – 424s. - ISBN966-364-338-2.
8. Nadyozhnost izdelyi mashynostroeniya. Sistema sbora i obrabotki ynformatsyi. Osnovnye polozheniya: HOST 16468-70. – М.: Yzdatelstvo standartov, 1970. – 23 s.
9. Ahapov A.S. Hrafycheskyi metod otsenky nadyozhnosti po prohressyvo tsenzuryrovannoi e'kspluatatsyonnoi ynformatsyy. Materyaly k kratkosrochnomu seminaru «Metody statystycheskoho analiza i obrabotky maloho chysla nabliudenyi pri kontrole kachestva i nadyozhnosti pryborov i mashyn», L.: LDNTP, 1974.
10. Kendall M.Dzh. Statysticheskye vyvody i svyazy / M.Dzh. Kendall, A.M. Stiuart. – М.: Nauka, 1973.

Рецензія/Peer review : 17.3.2014 р. Надрукована/Printed :16.5.2014 р.
Рецензент: Артим В.І., д.т.н., проф., зав. кафедри будівельної механіки,
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу