

УДК 677.055.621

БЕРЕЗІН Л.М., КОВАЛЬОВ Ю.А.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЯК
ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ
ОБЛАДНАННЯ**

***Мета.** Розвиток методології розв'язку прикладних задач оцінки діючого та забезпечення заданого рівня надійності обладнання, інформаційною основою яких слугують результати експлуатаційних спостережень.*

***Методика.** Використано сучасні методи розрахунків надійності деталей машин загального призначення за міцністю в детермінованій та імовірнісній постановках, методи випробувань на надійність, галузеві технічні матеріали з оцінки експлуатаційної надійності обладнання та інші нормативно-технічні документи.*

***Результати.** Запропоновано методологічний підхід до використання даних експлуатаційних спостережень обладнання в розрахунках довговічності та надійності деталей на етапі проектування нових моделей при умові спадковості конструкцій. Представлені основні положення визначення причин відмов обладнання в процесі експлуатації з метою вибору дій по їх усуненню.*

***Наукова новизна.** Досліджена можливість використання хронометричних даних про експлуатаційні відмови обладнання в розрахунках довговічності і надійності при проектуванні нових конструкцій та прототипів.*

***Практична значимість.** Застосування даних експлуатаційних спостережень при модернізації діючих та створенні нових зразків обладнання дозволяє замінити довготривалі та витратні стендові випробування з достатньою для етапу проектування точністю.*

***Ключові слова:** надійність, довговічність, експлуатаційні спостереження, крива втомленості, проектування*

Вступ. Однією з головних ознак якості технологічного обладнання є його надійність - властивість обладнання зберігати протягом часу в заданих межах всі параметри, які забезпечують виконання потрібних функцій в заданих умовах експлуатації. Недостатня надійність обладнання призводить до зниження якості виробів, що виготовляються, до значних витрат на обслуговування та ремонт, простою обладнання, до матеріальних та трудових втрат. Переважна більшість видань по надійності має математичну вузьку спрямованість з використанням різноманітних розрахунків та методів випробувань на надійність [1-6]. Спільною рисою цих робіт є відсутність комплексного використання емпіричних даних про строк служби обладнання та його складових, які отримуються в процесі експлуатації. Наявні джерела інформації з експлуатаційних випробувань переважно присвячені кількісній оцінці показників надійності діючого обладнання без встановлення причин відмов та їх впливу на надійність. Дана стаття спрямована на усунення цієї прогалини.

Постановка завдання. Метою статті є подальший розвиток теорії і методології розв'язку прикладних задач оцінки діючого та забезпечення заданого рівня надійності, інформаційною основою яких слугують результати експлуатаційних спостережень.

Обчисленню підлягають циклічна довговічність, яка опосередковано зв'язана з ресурсом деталі, та границя її обмеженої втомленості. Результати роботи представлені на прикладі стержньових елементів панчішно-шкарпеткових автоматів (ПША) як найбільш складного технологічного обладнання галузі.

Результати досліджень. Експлуатаційні спостереження обладнання першочергово пов'язують з визначенням рівня надійності обладнання в умовах реального виробництва. Основними перевагами аналізу надійності обладнання за даними експлуатаційних спостережень є незначна вартість випробувань та повна відповідність результатів експерименту умовам експлуатації.

Для нормативного забезпечення методів, заходів та засобів вимірювання, спрямованих на досягнення необхідного рівня надійності, використовується система стандартів «Надійність у техніці», яка відповідає вимогам міжнародного стандарту ІСО 8402-86. З чотирьох властивостей, що характеризують надійність технологічного обладнання, найбільш важливою є довговічність - властивість обладнання тривало зберігати працездатність до граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонтів. Під граничним станом обладнання розуміють неможливість його подальшої експлуатації через критичну інтенсивність відмов та зниження ефективності роботи. Кількісна оцінка довговічності об'єктів за результатами випробувань та розрахунків визначається за показниками, формули та особливості обчислень яких наведені в [7]. В машинобудуванні стандартами регламентується послідовність збору та обробки експлуатаційної інформації [8], форми обліку та методи оцінки інформації з надійності обладнання в експлуатації [9]. Керівним галузевим матеріалом є положення [10], де представлена система збору та обробки інформації про надійність як сукупність організаційно-технічних заходів.

У відповідності до вимог вибір номенклатури нормованих показників надійності виконують за таблицею за спеціально складеним шифром обладнання [11]. Наприклад, для ПША маємо шифр 2424, за нормовані показники - коефіцієнт готовності, наробіток на відмову та середній час відновлення працездатності механізму.

Галузеве технологічне обладнання відносять до об'єктів, які відновлюються, тобто підлягають ремонту. Для них з п'яти основних планів проведення спостережень приймають план $[N, R, r]$. Згідно з цим планом спостереженню підлягають N об'єктів; об'єкти або їх складові одиниці, які відмовили, замінюють новими або відновлюють; спостереження тривають до досягнення r відмов або граничних станів. Вибір зони спостереження полягає в визначенні кількості об'єктів N , які поставлено на експлуатаційне випробування. Число об'єктів спостереження N обмежується з одного боку тривалістю випробування, а з іншого - повнотою та достовірністю інформації, яку отримують. Для скорочення терміну випробувань доцільно розширювати зону спостережень, але збільшення кількості об'єктів спостереження обмежується інтервалом часу між двома суміжними відмовами, за який необхідно встановити місце та причину відмови, час відновлення працездатності об'єкту з занесенням необхідної інформації до первинних документів. Мінімальне число відмов r визначають за таблицями [11] в залежності від заданої похибки середнього значення показника надійності з певними імовірністю та коефіцієнтом варіації.

Обробка експлуатаційної інформації включає наступні етапи [12]:

- систематизація експлуатаційних даних;
- їх первинна обробка;
- визначення закону розподілу випадкової величини (наробіток на відмову , часу відновлення тощо);
- визначення числових значень показників надійності.

Найбільш повно розрахункові формули, які призначені для визначення точкових оцінок та інтервалів показників надійності за параметрами експоненціального, Вейбула, нормального та логарифмічно-нормального законів розподілу для різних планів досліджень приведені в [13].

Вважається, що методологія кількісної оцінки експлуатаційної надійності машин достатньо відпрацьована, якщо основною задачею є визначення дійсних значень показників надійності. Проте навіть при наявності методичних вказівок [14], системність по визначенню причин відмов обладнання в процесі експлуатації відсутня, оскільки в кожному конкретному випадку необхідно враховувати технологічні та технічні особливості об'єктів дослідження. Авторами пропонується вибір дій в послідовності наслідок – причина, тобто шляхом зворотним виникненню, розвитку та прояву відмови.

Факт відмови доцільно встановлювати у відповідності до критеріїв відмов та граничних станів, які наводяться в нормативно-технічній або конструкторській документації на конкретний тип обладнання. Однакові зовнішні прояви відмов (злом, знос, тріщини тощо та мішані) можуть бути наслідком відмов різного характеру, що значно ускладнює діагностику причин.

Найбільш відповідальним є етап визначення механізму (процесу руйнування) відмови. Перелік можливих механізмів відмов складають до спостереження обладнання в виді класифікаторів механізмів відмов різного характеру. Найбільш поширеними вважаються втомленісні зломи деталей, таблиця-класифікатор яких [5], дозволяє визначити вид злому, оцінити величину робочих навантажень, конструктивні особливості деталей, які спонукають до розвитку втомленісних зломів. Окрім визначення причин відмов, отриману інформацію можна застосовуватися при розробці заходів по зменшенню руйнувань обладнання.

За причиною виникнення відмови поділяють на конструктивні, виробничі та експлуатаційні. Оскільки конструктивні відмови зумовлені помилками при проектуванні, порушенні норм та правил проектування, тобто розповсюджуються на всю сукупність вироблених машин даного типу, причини саме цих відмов встановлюються в ході експлуатаційних спостережень та усуваються при удосконаленні обладнання. Приклад аналізу конструктивних причин відмов в'язальних голок ПША за експлуатаційною інформацією представлено в [12]. За результатами класифікаційно-діагностичної обробки даних встановлено, що більшість відмов голок припадає на втомленісні руйнування їх гачків (для голок поз.0-1305 – 65%; поз.0-1306 – 76%; поз.0-1308 – 85%). Фрактографічний аналіз поверхонь злому гачків голок та класифікація втомленісних зломів, дозволили становити місце зародження втомленісної тріщини (з внутрішньої сторони гачка біля початку його згину), оцінити вид навантаження (двосторонній згин з розтягом), ознаки її величини (помірне та високе номінальне напруження). Це підтверджує, що втомленісний вид відмов є результатом багаторазових знакозмінних ударів та відбиття хвиль в голці.

Питання функціональної надійності обладнання, яка передусім впливає на якість виробів, розглянуті на прикладі експлуатаційних спостереженнях плоско в'язальних машин серійного виробництва. До технологічних відмов, які пов'язані з наднормативними відхиленнями структурних параметрів трикотажу, відносили поперечну нерівномірність структури петель (збривистість), поперечні та повздовжні полоси, різну щільність вертикальних та горизонтальних петель, невідповідність виробу за розмірами та формою, дефекти пряжі тощо, які встановлювали в процесі суцільного контролю виробів візуально та з використанням трафаретів і лекал. Розподіл відмов по видах цієї групи наступний: на відхилення довжини нитки в петлі припадає 37% відмов, на відхилення довжини та ширини виробу – 17%, поперечна нерівномірність структури петель (збривистість), скидання петельного ряду або окремої петлі становить 12%, до інших належить розрідженість петель по краям, деформація еластичної нитки через неузгодженість щільності в'язання на гольницях, затяжки волокон ниток тощо. В 32% обриви ниток виникають через дефекти пряжі (вузли, шишки, не пропряди тощо), більше 50% обривів ниток спричиняють зрив виробів. Технологічні відмови найбільше впливають на коефіцієнт готовності плоско в'язальних машин, як за кількістю відмов (39% від загальної), так і за тривалістю простоїв, оскільки усунення причин дефектності, пов'язано з пошуком неполадок і наступними регулюваннями.

Якщо дані експлуатаційних спостережень при оцінці надійності діючого обладнання є складовою системи експериментальних досліджень, то використання їх для прийняття конструкторських рішень на основі розрахунків на етапі проектування відсутні. Актуальність таких розрахунків підтверджується сучасною закономірністю промислового виробництва порівняно не чисельних партій обладнання або їх модернізації, коли натурні випробування є довготривалими та витратними.

Пропонується для локального удосконалення обладнання, яке спрямовано на усунення або значне скорочення кількості втомленісних відмов з наступною оцінкою реалізованих заходів, використовувати відомості з експлуатаційної надійності їх прототипів. Розрахунок втомленісної довговічності базується на залежності між еквівалентним напруженням $\sigma_{екв_i}$ в небезпечному перерізі деталі та відповідним розрахунковим числом циклів навантаження її до руйнування N_{pi} - рівнянні Велера:

$$N_{p2} = \left(\frac{\sigma_{екв1}}{\sigma_{екв2}} \right)^m \cdot N_{p1} \quad (1)$$

де m - параметр, який враховує нахил робочої ділянки кривої втомленості деталі; i - індекс параметру до ($i = 1$) та після ($i = 2$) удосконалення. Досліджували ресурс T_{pi} як сумарний час в годинах безвідмовної роботи голки до втомленісного руйнування. Число ударів п'ятки голки (циклів навантаження) при взаємодії з усіма клинами замкової системи на робочих швидкісних режимах виготовлення різних ділянок виробу обчислювали за формулою:

$$N_{pi} = 60T_{pi}n_i(N_I + N_{II} + N_{III}), \quad (2)$$

де n_i , - частота обертання голкового циліндру при виготовленні різних ділянок виробу;

N_I, N_{II}, N_{III} - число ударів голки з підйомним, кулірним та підкулірним клинами за один оберт голкового циліндру. Розрахунку N_I, N_{II}, N_{III} передував аналіз траєкторії руху п'ятки голки по клинам в в'язальних системах.

Положення розрахунку також справедливі для оцінки заходів комплексної модернізації при зміні кутів нахилу клинів та їх кількості в системах, жорсткісних C_{np} та інерційних m_{np} параметрів голок або клинів тощо. Реалізація методу можлива при наявності значного об'єму хронометражних даних експлуатаційних спостережень, а також при проектуванні в'язальних механізмів перспективних моделей автоматів з спадковістю конструкцій. Оскільки результати розрахунку є детерміновані і наближені, то запропонований підхід доцільно застосовувати на стадії попереднього розрахунку.

Основною ланкою типових розрахунків довговічності деталей в імовірнісній постановці є залежність між значеннями границі обмеженої втоми деталі $\bar{\sigma}_{-1DN_i}$ від відповідної циклічної довговічності N_{pi} . Прийнята до проектування довговічність N_{pi} по втомленісній міцності деталі досягається у випадках забезпечення еквівалентних напружень в небезпечному перерізі нижче від $\bar{\sigma}_{-1DN_i}$. Реалізацію розрахунку виконували на прикладі в'язальних голок – стержньових елементів складної форми, які є критеріальними за розмірами.

Прийнятність стосовно голок загальних положень типових розрахунків на втомленісну довговічність деталей машин обмежена:

- відсутністю параметрів втомленості голок (границі втомленості деталі σ_{-1D} , абсциси точки перегину кривої втомленості N_G та параметру m);

- складністю урахування конструктивних і технологічних особливостей голки при визначенні загального коефіцієнту зниження границі втомленості K (границя втомленості деталі натуральних розмірів σ_{-1D} звичайно в 2...6 раз менше границі втомленості матеріалу σ_{-1} деталі), що може призвести до значних похибок при обчисленні коефіцієнту K .

В залежності від вимог до точності та повноти отриманих характеристик застосовують звичайні методики побудови кривої втомленості за результатами натурних випробувань зразків на стендах. Традиційний підхід побудови робочої ділянки кривої втомленості гачків голок характеризується значною тривалістю та чималими витратами, що унеможливорює його застосування на стадії проектування. Для спрощення отримання графічної залежності $\sigma_{-1DN_i} = f(\lg \bar{N}_{pi})$ пропонується використовувати наявні статистичні дані експлуатаційних спостережень про наробітки голок на відмову за критерієм втоми їх гачків. В цьому випадку послідовність побудови кривої втомленості включає наступні етапи:

- отримання на основі розроблених динамічних моделей ударної взаємодії в системі клин - голка - паз циліндру максимальних навантажень на п'ятку голки з урахуванням згину її стержня та повздожньої і згинальної податливостей;

- обчислення еквівалентних напружень в голках за аналізом їх навантаженості за строк служби до руйнування;

- визначення еквівалентних напружень та відповідних чисел циклів навантаження до руйнування;

- побудова робочої вітки кривої втомленості голки, яка характеризує наробітки голок на відмову.

За даними експлуатаційних досліджень ресурсів та результатами динамічного аналізу визначали три пари характеристики навантаженості для голок позицій 0-1305 0-1306 та 0-1308, які мають різні умови навантажень, за якими отримали графічну залежність границі обмеженої втомленості гачків голок σ_{-1DN_i} від їх циклічної довговічності N_{pi} . Складена базова крива втомленості гачків голок відповідає 50% -ій ймовірності їх руйнування. Для визначення $\sigma_{екв}$ з наперед заданою ймовірністю руйнування необхідно вводити в розрахунок умовний коефіцієнт запасу міцності виду:

$$K_{\sigma} = 10^{U_p \sigma_{lg N_p}}, \quad (3)$$

де $\sigma_{lg N_p}$ - середнє квадратичне відхилення логарифму середньої довговічності голки в циклах навантаження, яке також обчислюється за даними експлуатаційних спостережень;

U_p - квантиль нормального розподілу.

Справедливість виконання розрахунків за даними експлуатаційних спостережень підтверджується ймовірністю погодження $P(U = -1,25) = 0,88$ з результатами натурних стендових випробувань.

Криву втомленості, яка є основною ланкою розрахунків, можна використовувати при обчисленні довговічності стержньових елементів за заданими режимами навантаження та розв'язувати на стадії проектування обернену задачу - за заданим рівнем довговічності стержньових елементів розраховувати конструктивні параметри замкової системи в'язального механізму та швидкісні режими ПША.

Висновки.

1. В зв'язку з вищезначеним, експлуатаційні спостереження є необхідною складовою єдиної системи експериментальної оцінки та методів розрахунків характеристик міцності при багато цикловому навантаженні та ресурсу витривалості деталей ПША та іншого технологічного обладнання циклічної дії.

2. Запропоновано методологічний підхід, що сприяє адаптації даних експлуатаційних випробувань обладнання до вибору надійності раціональних конструкторських рішень та технологічних режимів на основі розрахункових рекомендацій за довговічністю.

3. Представлені основні положення визначення причин відмов обладнання в процесі експлуатації з метою вибору дій по їх усуненню з урахуванням їх технічних та технологічних особливостей на прикладі ПША.

4. Оскільки реалізація та точність розрахунків довговічності деталей обладнання в детермінованому та особливо в імовірнісному аспектах залежить від об'єму та достовірності інформації про їх відмови, то доцільним є впровадження експлуатаційних спостережень для накопичення та внесення коректив в базу статистичних даних про строк служби деталей.

Список використаної літератури

1. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высш.шк., 1988. – 238 с.
3. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985. – 224с.
4. Канарчук В.С., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин. – К.: Либідь, 2003. – 324 с.
5. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1980. – 344 с.
6. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Соппротивление усталости металлов и сплавов: Справочник. В 2-х томах. – К.: Наукова думка, 1987. – 1315 с.
7. ДСТУ 3433 - 96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. Введ. 01.01.97. – К.: Вид – во стандартів, 1996. – 42 с.
8. РД 50-204-87. Методические указания. Надежность в технике. Сбор и обработка информации о надежности изделий в эксплуатации. Основные положения.
9. ГОСТ 19490-74 Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Формы учета результатов обработки эксплуатационной информации. Введ. 01.13.74. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 52 с.
10. РТМ 27 – 72 – 313 – 80. Надежность изделий Минлегпищемаша. Методика сбора и обработки эксплуатационной информации. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 69 с.
11. Волощенко В.П., Пипа Б.Ф., Шипуков С.Т. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства. – К.: Техніка, 1977. – 136 с.
12. Березін Л.М. Оцінка довговічності та надійності в'язальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів: монографія / Л.М.Березін. – К.: КНУТД, 2013. – 191 с.
13. ДСТУ 3433 - 96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. Введ. 01.01.97. – К.: Вид-во стандартів, 1996. – 42 с.
14. Методические указания. Порядок проведения анализа причин отказов изделий. Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 35с.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

БЕРЕЗИН Л.Н., КОВАЛЕВ Ю.А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Развитие методологии решения прикладных задач оценки действующего и обеспечения заданного уровня надежности оборудования, информационной основой которых служат результаты эксплуатационных наблюдений.

Методика. Использовались современные методы расчетов надежности деталей машин по прочности, а также нормативно-технические документы и отраслевые руководящие материалы для оценки эксплуатационной надежности оборудования.

Результаты. Предложен методологический подход к использованию данных эксплуатационных наблюдений оборудования в расчетах долговечности и надежности деталей на этапе проектирования новых моделей при условии конструктивной наследственности.

Научная новизна. Исследована возможность использования хронометрических данных об эксплуатационных отказах оборудования в расчетах долговечности и надежности при проектировании новых конструкций.

Практическая значимость. Использование данных эксплуатационных наблюдений при модернизации действующих и создании новых образцов оборудования позволяет заменить длительные и затратные стендовые испытания с достаточной для этапа проектирования точностью.

Ключевые слова: надежность, долговечность, эксплуатационные наблюдения, кривая усталости, проектирование

OPERATING MONITORING AS INSTRUMENT OF RESEARCH OF EQUIPMENT RELIABILITY

BEREZIN L.M., KOVALEV U.A.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Development of methodology for the applied tasks of evaluation and provide a given level of reliability with the use results of operating monitoring.

Methodology. Use modern methods for the reliability calculations of details strength, standards and industry directions for the evaluation of operating reliability.

Findings. Methodological approach is offered in the calculations of longevity and reliability of details on information of operating monitoring of equipment on the design stage.

Originality. Applicability of chronometric data is investigational about the performance refuse of equipment in the calculations of longevity and reliability at the design stage.

Practical value. During modernization and design of equipment use of information of operating monitoring in exchange to the results of expense stand tests.

Keywords: reliability, longevity, monitoring operation, fatigue curve, design