

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

Березін Л.М., к.т.н., доц.

Київський національний університет технологій та дизайну

Ковальов Ю.А., к.т.н., доц.

Київський національний університет технологій та дизайну

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 [1-5] та методів випробувань на надійність [6-8]. Відмінною рисою цих робіт є відсутність комплексного використання емпіричних даних про строк служби обладнання та його складових, які отримуються в процесі експлуатації.

Метою роботи є подальший розвиток теорії і методології розв'язку прикладних задач оцінки та забезпечення заданого рівня надійності, інформаційною основою яких слугують результати експлуатаційних спостережень. Робота виконана на прикладі панчішно-шкарпеткових автоматів (ПША).

З чотирьох властивостей, що характеризують надійність технологічного обладнання, найбільш важливою є довговічність. Для кількісної оцінки показників довговічності обладнання за результатами випробувань та розрахунків в ДСТУ 3433-96 наведені формули та особливості обчислень.

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

В машинобудуванні є ряд стандартів, які регламентують послідовність збору та обробки експлуатаційної інформації (ГОСТ 20857-75), форми обліку та методи оцінки інформації з надійності обладнання в експлуатації (ГОСТ 19490-74). Керівним галузевим матеріалом є положення РТМ 27 – 72 – 313 – 80, де представлена система збору та обробки інформації про надійність як сукупність організаційно-технічних заходів.

Вибір номенклатури нормованих показників надійності виконується за таблицею по спеціально складеному шифру обладнання [9]. Наприклад, для ПША маємо шифр 2424 та наступні нормовані показники: коефіцієнт готовності, наробіток на відмову та середній час відновлення працездатності.

Галузеве технологічне обладнання відносять до об'єктів, які відновлюються, тобто підлягають ремонту. Для них з п'яти основних планів проведення спостережень (ГОСТ 17510-79) приймають план $[N, R, r]$. Згідно з цим планом спостереженню підлягають N об'єктів; об'єкти або їх складові одиниці при відмові 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 із занесенням необхідної інформації до первинних документів обліку.

Мінімальне число відмов r визначають за таблицями [9] в залежності від похибки середнього значення показника надійності із заданими ймовірністю та коефіцієнтом варіації.

Основні форми документів для збору та обробки даних про експлуатаційну надійність регламентовані ГОСТ 17526-72.

Обробка експлуатаційної інформації включає наступні етапи [10]:

- систематизація експлуатаційних даних;
- первинна їх обробка;
- визначення закону розподілу випадкової величини показника надійності;
- обчислення значень показників надійності.

Найбільш повно розрахункові формули для визначення точкових оцінок та інтервалів показників надійності за параметрами експоненціального, Вейбула, нормального та логарифмічно-нормального законів розподілу приведені в ДСТУ 3433-96. Стандарт встановлює визначення оцінок для різних планів досліджень.

Вважається, що методологія кількісної оцінки експлуатаційної надійності машин достатньо відпрацьована, якщо основною задачею є перевірки дослідження дійсних значень показників надійності. Проте відсутня системність по визначенню причин відмов обладнання по місцю експлуатації, 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 встановлюється у відповідності до критеріїв відмов та граничних станів, які наводяться в нормативно-технічній або конструкторській документації на конкретний тип обладнання. Однакові зовнішні прояви відмов можуть бути наслідком відмов різного характеру. Найбільш відповідальним є етап визначення механізму (процесу руйнування) відмови. Перелік можливих механізмів відмов складають до спостережень в виді класифікатору. Найбільш поширеними вважаються втомленісні зломи деталей,

які характеризуються за таблицю-класифікатором [6], за допомогою якої визначають вид злому, оцінюють величину робочих навантажень, конструктивні особливості деталей, які спонукають до втомленісних зломів.

Оскільки конструктивні відмови розповсюджуються на всю сукупність вироблених машин даного типу, причини саме цих відмов встановлюються в ході експлуатаційних спостережень та усуваються при удосконаленні обладнання. В [10] представлено за експлуатаційною інформацією аналіз конструктивних причин відмов в'язальних голок ПША. 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 за [6], дозволили становити місце зародження втомленісної тріщини (з внутрішньої сторони гачка біля початку його згину), оцінити вид навантаження (двосторонній згин з розтягом), ознаки його величини (помірне та високе номінальне напруження). Це підтверджує, що втомленісний вид відмов голок є результатом багаторазових знакозмінних ударів та відбиття хвиль в голці.

Питання функціональної надійності обладнання, яка передусім впливає на якість виробів, розглянуті за результатами експлуатаційних спостережень плоско в'язальних машин. За розподілом технологічних відмов, які пов'язані з наднормативними відхиленнями структурних параметрів трикотажу, встановлено, що відхилення довжини нитки в петлі складає 37% відмов, відхилення по довжині та ширині виробу – 17%, зебрність, скидання петельного ряду або окремої петлі – 12%. 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 перервою в'язання та регулюванням.

Якщо дані експлуатаційних спостережень при оцінці надійності діючого обладнання є складовою системи експериментальних досліджень, то використання їх в розрахунках для прийняття конструкторських рішень майже відсутні. Актуальність таких розрахунків підтверджується сучасною закономірністю промислового виробництва або модернізації порівняно не чисельних партій обладнання, коли витратні натурні випробування є недоцільними.

В роботі [10] для локального удосконалення обладнання пропонується 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:

$$N_{p_2} = (\sigma_{екв1} / \sigma_{екв2})^m \cdot N_{p_1}, \quad (1)$$

де m - параметр, який враховує нахил робочої ділянки кривої втомленості деталі; i - індекс параметру до ($i = 1$) та після ($i = 2$) удосконалення. Досліджували показник довговічності селекторів ПША - ресурс T_{pi} , як сумарний час в годинах безвідмовної роботи до втомленісного їх руйнування. Число ударів п'ятки селектора (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 селектора по клинам в в'язальних системах ПША.

Положення розрахунку справедливі для оцінки заходів комплексної модернізації в'язальних систем ПША при зміні кутів нахилу клинів та їх кількості в системах, жорсткісних C_{np} та інерційних m_{np} параметрів селекторів або клинів тощо. Реалізація методу можлива при наявності значного об'єму хронометражних даних 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 ймовірнісній постановці є залежність значень границь обмеженої втомленості деталі $\bar{\sigma}_{-1DN_i}$ від відповідної циклічної довговічності N_{pi} . Прийнята до проектування довговічність N_{pi} по втомленій 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 ПША – стержньових елементів складної форми, які критеріальні за розмірами.

Прийнятність стосовно голок загальних положень типових розрахунків на втомленісну довговічність деталей загального машинобудування обмежена через відсутність параметрів втомленості голок та складність урахування конструктивних і технологічних особливостей голки при визначенні загального коефіцієнту зниження границі втомленості (границя втомленості деталі σ_{-1D} звичайно в 2...6 раз менше границі втоми матеріалу σ_{-1} деталі).

Для спрощення отримання графічної залежності $\bar{\sigma}_{-1DN_i} = f(lg \bar{N}_{pi})$ пропонується використовувати

статистичні дані експлуатаційних спостереженнях про наробітки голок на відмову за критерієм втомленості їх гачків. Побудову кривої втомленості виконували в наступній послідовності:

- отримували на основі розроблених динамічних моделей максимальні ударні навантаження на голку з урахуванням згину її стержня та повздожньої і згинальної податливостей;

- обчислювали еквівалентні напруження в голках, аналізуючи їх навантаженості за строк служби до руйнування;

- будували робочу ділянку кривої втомленості голки, яка характеризує наробітки голок на відмову.

За даними експлуатаційних досліджень ресурсів та результатами динамічного аналізу визначали три пари характеристик навантаженості для голок позицій 0-1305 0-1306 та 0-1308, які мають різні умови навантажень, за якими отримали графічну залежність σ_{-1DN_i} від N_{pi} . Складена базова крива втомленості гачків голок відповідає 50% -ій ймовірності їх руйнування. Для визначення $\sigma_{екв}$ з наперед заданою ймовірністю руйнування необхідно в розрахунок вводити 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 в циклах навантаження, яке також обчислюється за даними експлуатаційних спостережень; U_p - квантиль нормального розподілу.

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

Отримана крива втомленості дозволяє обчислювати довговічності стержньових елементів по заданим режимам навантаження та розв'язувати на стадії проектування обернену задачу - за заданим рівнем довговічності елементів розраховувати конструктивні параметри в'язального механізму та швидкісні режими ПША.

Перелік літературних джерел

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. – 224 с.
4. Хазов Б.Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету машин на стадии проектирования. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
5. Канарчук В.С., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин. – К.: Либідь, 2003. – 324 с.
6. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1980. – 344 с.
7. Коновалов Л.В. Нагруженность, усталость, надежность деталей металлургических машин. – М.: Металлургия, 1981. – 280 с.
8. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справочник. В 2-х томах. – К.: Наукова думка, 1987. – 1315 с.
9. Волощенко В.П., Пипа Б.Ф., Шипуков С.Т. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства. – К.: Техніка, 1977. – 136 с.
10. Березін Л.М. Оцінка довговічності та надійності в'язальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів: монографія / Л.М.Березін. – К.: КНУТД, 2013. – 191 с.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Предложены основные положения использования данных эксплуатационных наблюдений при оценке надежности действующего оборудования и в расчетах для принятия конструкторских решений на этапах проектирования, изготовления или модернизации. Результаты работы, прежде всего, посвящены вопросам повышения долговечности деталей по критерию их усталостной прочности. В расчетах предлагается использовать уравнение Веллера и графическую зависимость значений пределов ограниченной усталости детали от соответствующей циклической долговечности.