УДК 656.13:629.33

ОЦІНКА ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

В.Г. Максимов, канд. техн. наук, **О.Д. Ніцевич**, канд. техн. наук,
О.А. Ткачьов, інж., **А.М. Теплечук**, інж.

Одеський національний політехнічний університет

Розглядається проблема забезпечення заданого ресурсу деталей, вузлів, агрегатів автомобіля. Визначається роль гамма-процентного ресурсу - характеристики вірогідності не руйнування. Пропонується алгоритм переходу за результатами прискорених випробувань до середнього ресурсу в експлуатації. Основні етапи методики розрахунку ресурсу містять приклади визначення середнього ресурсу для деталей трансмісії.

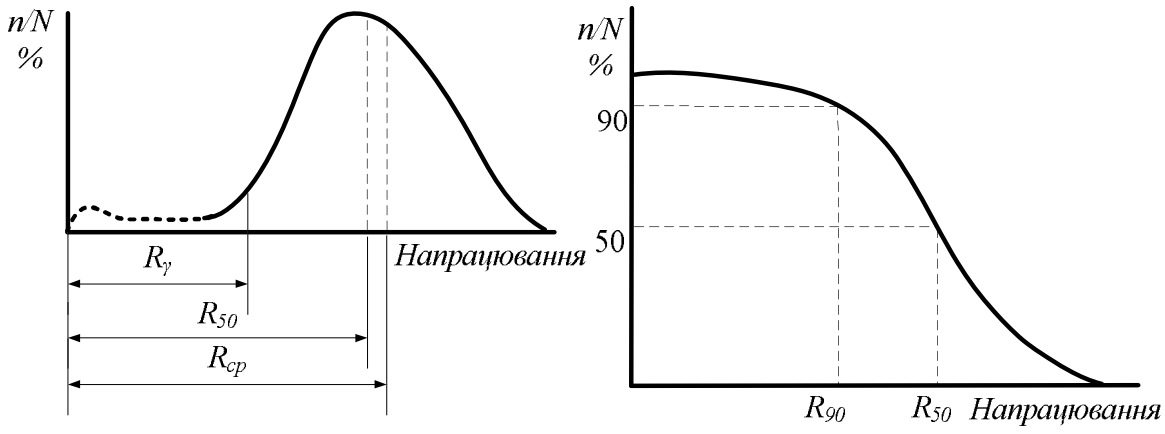
Ключові слова: показники надійності, гамма-процентний ресурс, довговічність агрегатів автомобіля.

Вступ. Ефективність і якість транспортного процесу агропромислового виробництва значною мірою залежить від надійності експлуатації автомобілів. Це обумовлює збільшені вимоги до довговічності вузлів, агрегатів автомобіля.

Проблема. Використання гамма-процентного ресурсу R_γ можливо в якості основи для вибору гарантійного напрацювання виробів на відмову. Оцінка довговічності виробів в машинобудуванні переважно заснована на використанні середнього ресурсу R_{cp}. При введенні в практику R_γ необхідно визначити співвідношення між R_γ та R_{cp}. При незавершених випробуваннях інформація про ці співвідношення для натурних виробів необхідна для попередньої оцінки R_γ і R_{cp}.

Мета і результати досліджень. Збільшені вимоги до надійності вузлів, агрегатів, автомобіля обумовлюють необхідність мати чисельні значення середнього ресурсу всіх виробів генеральної сукупності, а також довговічності виробів, що не досягають середнього ресурсу, зокрема викликають ранні відмови. Мінімальною вимогою слід вважати інформацію про ресурс вибраної долі виробів (γ, %), тобто напрацювання в кілометрах пробігу, при якій вірогідність того, що вироби не досягнуть граничного стану, з деякою мірою достовірності складає γ, %. Саме цю інформацію дає гамма-процентний ресурс — характеристика вірогідності не руйнування. Деяка інформація про ранні руйнування міститься і в R_{cp} у поєднанні з величиною середнього квадратичного відхилення. Величина R_γ, у відмінності від R_{cp} визначається при незавершених випробуваннях, коли частина

випробовуваних вузлів, агрегатів не доведена до руйнування.Ефективним напрямом слід вважати проведення прискорених випробувань автомобілів, агрегатів, вузлів, деталей, включаючи стендові. Широке поширення цього вигляду випробувань, як одного з прогресивних методів прискореної оцінки ресурсу, вимагає визначення основних статистичних показників довговічності: середній ресурс R_{cp} (середнє напрацювання до граничного стану) і гамма-процентний R_{γ}, (характеристика мінімальної довговічності виробу). Розглядається проблема, чому не можна обмежиться оцінкою довговічності по середньому ресурсу R_{cp} (рис. 1), а необхідно використовувати гамма-процентний ресурс.



а б

Рис. 1. Криві розподіли ресурсів (а) і спаду виробів (б): R_{50} — 50%-ний (медіанний) ресурс; n — число виробів, що відмовили; N — число випробуваних або експлуатованих виробів

В якості критерію відмови несучих систем, рами сходового типа, розглядається поява і розвиток тріщин втоми [2]. Коефіцієнт, що характеризує відносне напрацювання з тріщиною:

$$C = N_2 / N_{пр} \quad (1)$$

де N_2 — напрацювання після появи тріщини до її граничної довжини $l_{пр}$; $N_{пр}$ — напрацювання при граничній довжині тріщини.

До основних статистичних показників довговічності деталей машин, відноситься, гамма-процентний R_{γ} і середній R_{cp} ресурси. Для середнього ресурсу коефіцієнт переходу K_n визначається відношенням оцінки середнього ресурсу, визначеного при прискорених випробуваннях, до середнього ресурсу в експлуатації. Значення $K_{n\gamma}$ визначається аналогічно, де замість оцінок R_{cp} беруть відношення R_{γ} відповідно:

$$K_n = R_{ср\,у} / R_{ср\,э} \quad (2)$$

де R_{cpy}, $R_{cpэ}$ — середній ресурс по прискорених випробуваннях і в експлуатації відповідно.

$$K_{n\gamma} = R_{\gamma\,y} / R_{\gamma\,э} \qquad (3)$$

де $R_{\gamma\,y}$, $R_{\gamma\,э}$ — гамма-процентний ресурс по прискорених випробуваннях і в експлуатації відповідно.

У механіці руйнувань, в якості параметру, що характеризує зростання тріщин, використовують коефіцієнт інтенсивності напруги у вершині тріщини:

$$K = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \qquad (4)$$

де σ — номінальна нормальна напруга; l — напівдовжина тріщини.

Тут, ресурс конструкції визначається для випадку лінійних залежностей зростання тріщин:

$$R = \frac{l_{np} - \bar{a}}{l_j} \qquad (5)$$

де $\bar{a}$ — середнє значення коефіцієнтів рівнянь виду $l_j = a + b \cdot N$; l_{np} — приріст довжини тріщини, визначуваний з використанням принципу лінійного підсумовування пошкоджень і залежності швидкості росту тріщин від рівня напруги.

За результатами прискорених випробувань оцінка ресурсу в експлуатації:

$$R_э = \frac{N_1}{(1 - C) \cdot K_n} \qquad (7)$$

де K_n — коефіцієнт переходу від показників довговічності при прискорених випробуваннях до показників довговічності в експлуатації; N_1 — напрацювання до появи тріщини, визначається експериментально на основі гіпотези лінійного підсумовування пошкоджень. Величина R_γ є одній з найбільш зручних кількісних характеристик раннього руйнування випробовуваного агрегату, що полегшує нормування і стандартизацію показників, а також зіставлення різних моделей і результатів випробувань різних партій виробів. Одночасно, змінюючи величину γ представляється можливим використовувати R_γ для різних варіантів розрахунків, випробувань до оцінки довговічності деталей, вузлів, агрегатів автомобілів. Вибір величини γ залежить від особливостей випробовуваного вузла, агрегату і ряду техніко-економічних міркувань, найважливішими з яких є наслідки відмови. Як норма довговічності основних агрегатів автомобілів приймаємо 80 % -ний ресурс. Використання гамма-процентного ресурсу як основи для вибору гарантійного напрацювання в машинобудуванні агрегату, вузла, підтверджує значущість цього показника і доцільність його вживання. Оскільки накопичений досвід оцінки довговічності виробів машинобудування заснований переважно на використанні R_{cp}, то при введенні в практику показника R_γ, необхідно визначити співвідношення R_γ і R_{cp} для даного виробу. Крім того, при незавершених випробуваннях інформація про ці співвідношення по аналогічних виробах виявляється

корисною для попередньої оцінки R_{cp} по R_{γ}. При величинах γ (80…99,9 %) співвідношення між гамма-процентним і середнім або медіанним ресурсом вагається в широких межах залежно від типа розподілу ресурсів, його параметрів, коефіцієнта варіації ресурсів і вибраної величини γ. Тут, слід розрізняти агрегати, вузли, що замінюються після першої відмови, і які відновлюються в процесі експлуатації. Граничний стан після відновлення залежить від об'єму, числа і якості ремонтів, в зв'язку з цим зростає кількість чинників, що впливають на ресурси агрегатів, вузлів і на співвідношення між R_{γ} и R_{cp} (див. таблицю 1).

Таблиця 1. **Коефіцієнти довговічності деяких автомобільних і тракторних деталей при γ = 95 і 99,5%.**

Деталь	R_{95} / R_{50}	$R_{95.5}$ / R_{50}
Колеса	0,66	0,45
Цапфи передніх коліс	0,33	0,13
Листи рессор	0,60	0,38
Вентилятори	0,57	0,35
Шестерні коробок передач	0,49	0,26
Колінчасті вали двигунів двох моделей	0,40; 0,46	0,22; 0,18
Вихлопні клапани двигунів	0,20	0,05
Гіпоїдні шестерні при σ = 6540 і 7380 кг/см^2	0,33; 0,37	0,13; 0,16
Конічні шестерні при σ = 5270 і 6540 кг/см^2	0,32; 0,27	0,11; 0,08
Кулькові підшипники при σ = 21850, 23960, 28280, 31330, 33390 кг/см^2, відповідно	0,34; 0,24; 0,34; 0,26; 0,30	0,14; 0,07; 0,13; 0,08; 0,11
Півосі легкових автомобілів при σ = 1900 і 2670 кг/см^2	0,35; 0,46	0,14; 0,24
Півосі сільськогосподарського трактора при σ = 2110 і 3790 кг/см^2	0,57; 0,52	0,34; 0,29
Роликові ланцюги при навантаженні 300 і 360 кг	0,35; 0,32	0,14; 0,12

Як приклад для виробів, які підлягають заміні після першої відмови — відносяться підшипники кочення. При аналізі відомостей про підшипники коліс автомобілів, для шести різних груп підшипників, встановлено, що R_{90}/R_{cp} = 0,15…0,31.

При стендових випробуваннях різних деталей запропоновано використовувати «коефіцієнт довговічності», що характеризує відношення гамма-процентного ресурсу деталей при вибраній величині γ до їх медіанного

ресурсу. Мала величина цього відношення відповідає значному розсіюванню ресурсів, навпаки, велика величина вказує на порівняно мале їх розсіювання.

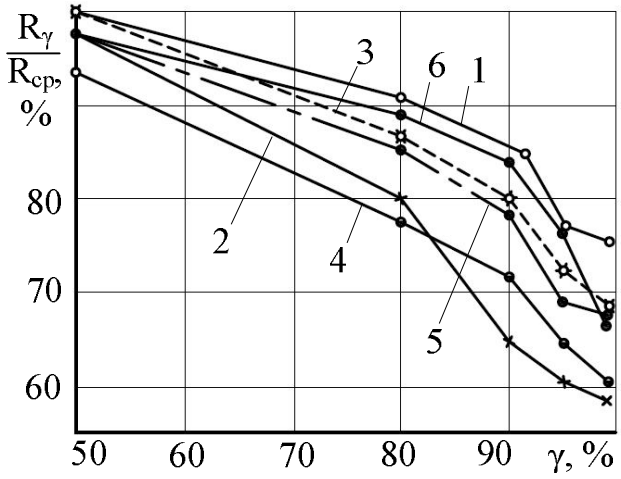


Рис. 2. Співвідношення між величинами гамма-процентного і середнього ресурсів агрегатів автомобілів «Волга»: 1— автомобіль (224 шт.); 2 — двигун (390 шт.); 3 — коробка передач (405 шт.); 4 — задній міст (336 шт.); 5 — рульовий механізм (475 шт.); 6 — передня підвіска (389 шт.)

Оцінку співвідношень між гамма-процентним і середнім ресурсом відновлюваних вузлів і агрегатів, розглянемо на прикладі вантажних автомобілів.

При 90% ресурсі вузлів, агрегатів вантажних автомобілів до першого капітального ремонту складає в долях від середнього ресурсу: двигунів 0,50...0,70; коробок передач і передніх мостів 0,50...0,60; задніх мостів 0,06...0,65; гальмівних систем 0,45; вузлів підвіски 0,56…0,60. Розподіл ресурсів всіх перерахованих агрегатів описувалися нормальним законом, в зв'язку з цим показник R_{50} виявився близьким до середнього ресурсу агрегатів, а R_{90} складав у відсотках від середнього ресурсу для коробок передач, рульових механізмів і передніх підвісок 0,78...0,85, двигунів і задніх мостів 0,65…0,75 (рис. 2).

Величина співвідношень між гамма-процентним ресурсом і середнім ресурсом для різних вузлів, агрегатів моделей вантажних автомобілів незначно відрізняються і складають до першого капітального ремонту: R_{50}/R_{cp} = 0,89…0,95; R_{90}/R_{cp} = 0,45…0,52; R_{95}/R_{cp} = 0,26…0,40; між капітальними ремонтами: R_{50}/R_{cp} = 0,71…0,78; R_{90}/R_{cp} = 0,13…0,30; R_{95}/R_{cp} = 0,06…0,14. Збільшення числа випадків раннього виходу з ладу агрегатів, що піддавалися знеособленому капітальному ремонту, при значному збільшенні розсіювання їх ресурсів (коефіцієнт варіації збільшився в 2 — 3 рази) привело до різкої зміни відношення R_γ/R_{cp}. Приведені відомості дають уявлення про відношення R_γ/R_{cp} у декількох окремих випадках і свідчать про необхідність систематичного накопичення і узагальнення відповідних експериментальних даних. У всіх випадках із збільшенням розсіювання ресурсів відношення R_γ/R_{cp} зменшується, оскільки при великому розсіюванні число випадків раннього руйнування зростає, що наводить до зменшення гамма-процентного ресурсу. Поєднання низького гамма-процентного ресурсу з високим середнім ресурсом свідчить про велике число випадків раннього руйнування. При величині коефіцієнта варіації не більше 0,5 шукане відношення визначається з вираження, при цьому погрішність у визначенні не перевищує 4 %:

$$\frac{R_\gamma}{R_{cp}} = 1...0{,}42 \cdot \upsilon \qquad (8)$$

Спрощений метод визначення гамма-процентного ресурсу полягає в експериментальному виявленні ресурсу, якого досягли γ % всіх виробів, наприклад, γ = 90% приймають 90%-ний ресурс рівним тому напрацюванню, при якому руйнувався четвертий агрегат (чотири вироби — 10 % партій).

Цей спосіб дозволяє приблизно оцінити 50%-ний ресурс випробовуваних агрегатів по руйнуванню перших 10% з їх загального числа. Тут, точніші оцінки дає визначення гамма-процентного ресурсу по вирівняної кривої розподілу або кривої спаду випробовуваних агрегатів (рис. 2). На графіку проводитися горизонталь від точки на осі ординат, відповідній вибраній величині γ і до пересічення можна визначити величину гамма-процентного ресурсу. При рівній мірі достовірності оцінок гамма-процентний ресурс вимагає випробування великого числа агрегатів, чим середній ресурс. Ця обставина визначає доцільність розгляду точності і прийомів оцінки R_γ. Впровадження в практику машинобудування оцінок довговічності вузлів, агрегатів за показниками R_γ і R_{cp} дозволяє сформувати завдання машинобудування в цій області таким чином: необхідно збільшити середній ресурс вузлів, агрегатів, підвищуючи рівень їх довговічності, і гамма-процентний ресурс, підвищуючи напрацювання до ранніх відмов і скорочуючи їх число, понизити розсіювання ресурсів і зближувати ресурси несучих деталей, вузлів, агрегатів, автомобілів. Для вдосконалення методів розрахунку ресурсу необхідно, ґрунтуючись на аналізі причинно-наслідкових передумов відмов, розробляти логічну модель відмов деталей, вузлів, агрегатів. Побудова структурно-слідчої моделі відмови елементу, деталі, більшою мірою знайшла вживання для випадку раптового і поступового руйнування що підкоряються експоненціальному і нормальному законам відповідно. Вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$ за умови незалежності приведених відмов визначається з вираження [3].

$$P(t) = e^{-\lambda t}\left\{1 - \left(\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \tau}\right)^{-1} \cdot \int_0^t \exp\left[\frac{-(t-m)^2}{2 \cdot \tau^2}\right] dt\right\} \qquad (9)$$

де λ — параметр експоненціального закону; m, τ — параметри нормального закону.

Виконаний аналіз результатів спостереження за відмовами деталей в експлуатації показав, що в основу моделей відмов деталей, слід прийняти три типа залежності руйнівних процесів: $x_i(t)$ — протікають в різних перетинах деталей (одному перетині), наводять до виникнення незалежних відмов; $y_i(t)$ — не наводять до відмови досягши граничного стану, є причиною виникнення інших процесів $xi(t)$, що наводять до відмов; $x_i(t)$ — наводять до відмов, розвиваються залежно від того, що досягають певного стану інші руйнівні процеси $y_i(t)$, що не наводять до відмови.

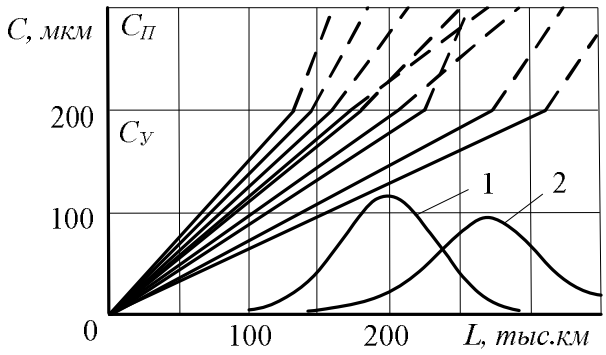


Рис. 3. До розрахунку ресурсу деталі по зносу за наявності зміцненого шару: 1 — розподіл напрацювання до зносу зміцненого шару $C_у$; 2 — розподіл напрацювання до відмови

Приклад. За наявності зміцненого шару товщиною $C_у$ реалізації зносу описуються функцією вигляду $S(t) = S_1(t)$, де S_1 — випадкова величина швидкості зношування, що підкоряється нормальному закону розподілу з параметрами $\overline{S_1}$ и σ_{S2}. Коли зміцнений шар зношується, реалізація зносу також підкоряється залежності $S(t) = S_1(t)$, при цьому середня швидкість зношування $\overline{S_2} = k \cdot \overline{S_{S1}}$, а $\sigma_{S2} = \sigma_{S1}$.

Гранична величина зносу, при якій настає відмова деталі, рівна C_n.

Для розрахунку параметрів щільності розподілу $f_1(t)$ і $f_2(t)$ тобто напрацювань до зносу зміцненого шару $C_у$ і граничного зносу C_n, допускаємо, що закони розподілу $f_1(t)$ і $f_2(t)$ — нормальні, а випадкові величини ресурсу T_1 і T_2 — незалежні. В цьому випадку щільність розподілу ресурсу $f(t)$ підкоряється нормальному закону розподілу [3]. На рис. 3 приведені результати розрахунку $f_1(t)$ и $f(t)$ при наступних вихідних даних: $\overline{S_1}$ = 1,1 мкм/тис. км; $\overline{S_2}$ = 1,54 мкм/тис. км; σ_{S2} = 0,4 кг/см^2; $C_у$= 200 мкм; C_n = 300 мкм.

Основні етапи методики розрахунку ресурсу деталей:

1. Виявлення перетинів (елементів) деталей, які повинні піддаватися розрахунку на довговічність. Для деталей, що мають аналоги, за основу беруться результати випробувань, експлуатаційних спостережень і мікрометрування, переважно при капітальному ремонті. Для знов проектованих деталей вибір здійснюється за результатами експертного опиту.
2. Визначення переважаючих видів руйнівних процесів для кожного перетину (знос, втома і ін.); вибір розрахункових моделей і оцінка взаємозв'язку між процесами.
3. Визначення вихідних даних для розрахунку щільності розподілів, переважно на основі методів прогнозування, окремих перетинів деталі.
4. Формування логічної моделі ресурсу деталі; оцінка показників ресурсу деталі.

Висновки. Проведені дослідження показали, що для деталей автомобіля такі оцінки можуть бути отримані за допомогою кореляційних рівнянь довговічності (КУД), що відображають зв'язок між вибраними критеріями $А_п$, що характеризують режим навантаження, і даними про ресурси деталей, отриманими в результаті спостережень за експлуатацією підконтрольних груп автомобілів агропромислового комплексу. Представляє практичний

інтерес розробка методики прогнозування ресурсу деталей без складання логічної моделі, але з врахуванням накопиченої інформації про експлуатацію (випробуваннях) раніше випущених машин — аналогів.

ЛІТЕРАТУРА

1.Кугель Р.В. Об основных показателях долговечности элементов машин / Р.В. Кугель, Ю.Н. Благовещенский // Вестник Машиностроения. — Москва. 1968 — Вып. 9. — С. 9 —13.
2.Панкратов, Н.М. Ускоренные испытания мобильных машин и их элементов / Н.М. Панкратов, Н.Д. Боровский — О.: Черноморье. — 1998. — 198 с.
3.Лукинский, В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев — Л.:Политехника, 1991. — 224 с.

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Максимов В.Г., Ницевич А.Д., Ткачев А.А., Теплечук А.М.

Ключевые слова: показатели надежности, гамма-процентный ресурс, долговечность изделия.

Резюме

Рассматривается проблема обеспечения заданного ресурса деталей, узлов, агрегатов автомобиля. Определяется роль гамма-процентного ресурса – характеристики вероятности не разрушения. Предлагается алгоритм перехода по результатам ускоренных испытаний к среднему ресурсу в эксплуатации. Приведенные Основные этапы методики расчета ресурса содержат примеры определения среднего ресурса для деталей трансмиссии.

ASSESSMENT OF THE MAIN INDICATORS RELIABILITY CARS OF AGRICULTURE

Maksimov V.G., Nitsevych O.D., Tkachev A.A., Teplechuk A.M.

Key words: reliability indexes, gamma-percent resource, longevity of wares.

Summary

The problem of providing a resource if not set parts, components, units of the automobile. Defines the role of gamma - the percentage of the resource - the probability characteristics undefeated. Propose an algorithm to step through the results of accelerated tests to the average resource operation. The main stages of the technique based resource contains examples of determining the mean resource for transmission parts.