

Гринченко О.С.,  
Алфьоров О.І.,  
Юр'єва Г.П.

Харківський національний  
технічний університет  
сільського господарства  
імені П.Василенка,  
м. Харків, Україна  
E-mail: nadezhnost@ukr.net

ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ МЕХАНІЧНОЮ  
НАДІЙНІСТЮ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ІНВЕРСІЙНОГО МЕТОДУ

УДК 62-192.642.041

*У роботі запропонований інверсійний метод, що дозволяє визначати параметри навантаженості пружних елементів*

*Ключові слова: інверсійний метод, пружний елемент, екстремальне навантаження, імовірність безвідмовної роботи, коефіцієнт запасу.*

**Постановка проблеми.** До раптових механічних відмов мобільної техніки зазвичай відносять різні види об'ємного і поверхневого руйнування, що призводять до втрати працездатності, наприклад, раптове квазістатичне руйнування або залишкова деформація, обумовлені екстремальними навантаженнями. Особливу увагу слід приділяти раптовим механічним відмовам тому, що їх виникнення практично неможливо діагностувати і відповідно передбачати моменти відмов. Це може негативно впливати на конкурентоспроможність техніки. Тому під час проектування необхідно таким чином обирати конструктивні і технологічні параметри, щоб вони забезпечували достатній рівень його безвідмовності, що гарантується впродовж заданого періоду експлуатації.

В роботах [1, 2] розроблені стохастичні моделі, використання яких дозволяє прогнозувати зміну імовірності безвідмовної роботи в залежності від наробітку у випадку раптових механічних відмов. Виконувати прогнозування надійності можливо, якщо відомі певні характеристики механічної навантаженості об'єкту, що розробляється. Період проектування зазвичай достатньо обмежений у часі і тому заздалегідь отримати у достатньому обсязі експериментальні дані щодо екстремальних навантажень в експлуатації, які були б вірогідними у статистичному аспекті, практично неможливо. Залишається використовувати розрахункові методи динамічного аналізу напружено-деформованого стану або методи експертного узагальнення досвіду експлуатації виробів, які є конструктивними аналогами об'єкту, що проектується. Кожний з цих шляхів має певні недоліки.

Перспективним напрямком удосконалення інженерного прогнозування та забезпечення механічної надійності є використання інверсійного методу та інвертуємих стохастичних моделей надійності [3, 4, 5]. Моделі, що наведені у [1], цілком відповідають вимогам, яким повинні задовольняти інвертуємі моделі механічної надійності. Статистичне оцінювання залежності імовірності безвідмовної роботи від наробітку у випадку механічних відмов зазвичай виконується за цензурованими вибірками даних, які складаються з наробітків до відмови та наробітків до припинення випробувань у виробів, що не відмовляли [5].

**Метою роботи** є удосконалення інверсійного методу прогнозування механічної надійності та застосування його у випадку забезпечення безвідмовності від раптових руйнувань.

**Загальна концепція застосування інверсійного методу.** Компенсувати нестачу експериментальної інформації щодо можливої експлуатаційної навантаженості проектуємого об'єкту доцільно, базуючись на статистичних даних відносно механічної надійності подібних до проектуємого за конструкцією та умовами використання виробів-аналогів, які мають достатньо великий наробіток в умовах реальної експлуатації. Наявність

певної теоретичної моделі надійності придатної і пристосованої до прогнозування імовірності безвідмовної роботи в залежності від узагальнених характеристик зовнішньої навантаженості проектуемого об'єкту принципово дозволяє розв'язати за допомогою тієї ж моделі і обернену інверсійну задачу: вважаючи відомою статистично визначену залежність імовірності безвідмовної роботи від наробітку знаходити відповідні характеристики зовнішньої навантаженості.

Складність розв'язку оберненої задачі полягає в тому, що таке обернення не гарантує однозначного визначення шуканих характеристик навантаженості. Це призводить, по-перше, до необхідності визначати параметри теоретичної моделі, використовуючи якийсь з обраних критеріїв її найкращого наближення до статистичної. По-друге, з цього виходить, що еквівалентність знайдених таким чином характеристик навантаженості реальним експлуатаційним є умовною. Однак, безсумнівною перевагою інверсійного методу є стимулювання корисного використання реальних статистичних даних, які можливо отримувати у значному обсязі шляхом моніторингу надійності, що не потребує великих витрат.

**Забезпечення надійності пружних елементів від раптових руйнувань інверсійним методом.** Пружні елементи в машинах зазвичай витримують значні напруження, працюючи у режимах, пов'язаних з виникненням великих деформацій. Останнім часом застосування пружних елементів поширилось і на ґрунтообробну техніку: культиватори з робочими органами на пружній підвісці та борони [6, 7]. У зв'язку з цим виникає актуальність проблеми забезпечення міцнісної надійності агрегатів з великою кількістю елементів, що в умовах експлуатації пружно деформуються. Вирішувати таку проблему необхідно під час проектування, коли закладається майбутня безвідмовність техніки.

Реалізація інверсійного методу прогнозування надійності пружних елементів розглянемо на прикладі ресор трактора. Аналіз цензурованих статистичних даних щодо надійності ресор під час виконання сільськогосподарських робіт був проведений за допомогою множильного методу [5]. Результатом є табл. 1, в якій по інтервалах наведені значення імовірності безвідмовної роботи ресор до наробітку 4800 мото-годин. До цього наробітку має місце стабілізація величини імовірності безвідмовної на рівні 0,941, що є ознакою раптового характеру виникаючих руйнувань.

У якості теоретичної моделі надійності ресор застосуємо стохастичні моделі раптових руйнувань, обумовлених екстремальними навантаженнями, які наведені у [1].

Таблиця 1

**Статистична модель надійності ресори**

№ інт.	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_i$ , мото-год	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800
$R_i^*$	0,995	0,989	0,968	0,951	0,941	0,941	0,941	0,941

Загальну теоретичну залежність імовірності безвідмовної роботи від наробітку можливо задати у вигляді

$$R(t_i) = \int_0^1 e^{-\omega_0 t_i [1 - F_1(G)]} dG, \quad (1)$$

де  $\omega_0$  – інтенсивність діючих екстремальних навантажень на ресору;  $t_i$  - наробіток, що відповідає  $i$ -му інтервалу (табл. 1);  $F_1(G)$  функція одиничного розподілу навантаження.

Розглянуто два варіанти задання функції одиничного розподілу навантаження [1]:

- з використанням закону Вейбулла

$$F_1(G) = 1 - (1 - G)^{\bar{K}^b}, \quad (2)$$

де  $\bar{K}$  – коефіцієнт запасу, що обраховується як відношення середніх величин несівної здатності та екстремальних навантажень;

- з використанням закону Фреше

$$F_1(G) = G^{\frac{1}{\bar{K}^\rho}}, \quad (3)$$

де  $b$  і  $\rho$  – коефіцієнти форми розподілів Вейбулла і Фреше.

Критерієм найкращого наближення теоретичної моделі надійності (1) до статистичної (табл. 1) було обрано цільову функцію  $\Phi(\omega_0, \bar{K}, b)$ , яка була побудована за методом найменших квадратів:

$$\Phi(\omega_0, \bar{K}, b) = \sum_{i=1}^k (R(t_i) - R_i^*)^2. \quad (4)$$

Числова комп'ютерна мінімізація функції  $\Phi(\omega_0, \bar{K}, b)$  дозволила визначити характеристики еквівалентної навантаженості ресор у випадку двох обраних варіантів функції одиничного розподілу навантажень (2) і (3). Таким чином було визначено два варіанти сукупності параметрів еквівалентної навантаженості:

1) Модель з розподілом Вейбулла:  $\omega_0 = 0,004$ ;  $\bar{K} = 1,41$ ;  $b = 12$

2) Модель з розподілом Фреше:  $\omega_0 = 0,05$ ;  $\bar{K} = 1,8$ ;  $\rho = 13,7$

Використовуючи ці дані за допомогою моделі (1) виконано прогнозування імовірності безвідмовної роботи на період до 10 тис. годин (рис. 1)

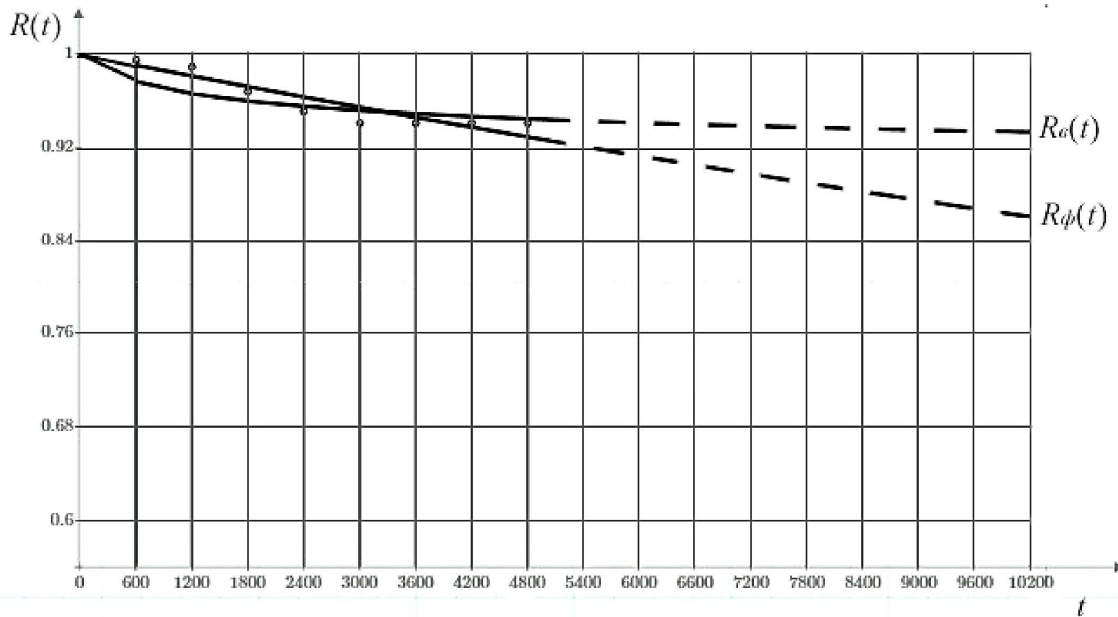


Рис. 1 – Прогнозуємі залежності:  $R_a(t)$  - за розподілом Вейбулла;  $R_\phi(t)$  - за розподілом Фреше

Знайдені характеристики еквівалентної навантаженості ресор на наступному етапі доцільно використовувати, щоб забезпечити заданий прогнозований рівень безвідмовності за рахунок модернізації і зміни конструктивних параметрів. Наявність загальної моделі моделі надійності (1) дозволяє на заданий період прогнозувати імовірність безвідмовної роботи, яка відповідає заданій сукупності параметрів  $\omega_0, \bar{K}$ , а також  $b$  або  $\rho$ . В процесі проектування вплинути на інтенсивність виникнення екстремальних наван-

тажень неможливо. Аналогічно слід залишити незмінними і характеристики випадкового розсіювання навантажень  $b$  і  $\rho$ .

Тому керованим відносним параметром навантаженості залишається коефіцієнт запасу  $\bar{K}$ . Прогнозування імовірності  $R_g(t)$  за розподілом Вейбулла до наробітку 10 тис. годин дозволило визначити, що  $R_g(10000) = 0,99$ , якщо збільшити коефіцієнт запасу до 1,67, або у 1,18 рази. Прогнозування за розподілом Фреше призводить до необхідності для забезпечення умови  $R_{\phi}(10000) = 0,99$  збільшити коефіцієнт запасу у 1,23 рази, піднявши його до значення  $\bar{K} = 2,21$ . Таке збільшення можливо виконати за рахунок зміни конструкції ресори, за рахунок якої повинен у 1,23 рази зрости момент опору згину ресори.

**Висновок.** Запропонований інверсійний метод дозволяє визначати параметри навантаженості пружних елементів, щоб забезпечити заданий рівень імовірності безвідмовної роботи 0,99, а також визначено оптимальне значення коефіцієнту запасу, для його забезпечування. Це можна досягти за рахунок збільшення моменту опору згину ресори.

### Література

1. Гринченко А.С., Алферов А.И. Основы прогнозирования и управления надежностью в условиях экстремальных нагрузок – Х.: ТОВ «Планета-Принт», 2017. – 136 с.
2. Гринченко А.С., Алферов А.И. Прогнозирование надежности элементов машин при случайном пуассоновском потоке экстремальных нагружений / А.С. Гринченко, А.И. Алферов // Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». – 2017. – №7 – С. 141-148
3. Гринченко А.С. Инверсионный метод оценки расчетных характеристик эксплуатационной нагруженности элементов трактора / А.С. Гринченко // Тракторная энергетика в растениеводстве. Сб. науч. трудов ХГТУСХ, Харьков, 2002. – С.62 – 77
4. Гринченко А.С. Инверсионное оценивание эквивалентной нагруженности. Материалы конференции «Современные проблемы инновационного развития агроинженерии» БГСА им. В.Я. Горина, Белгород, 2012. – С. 20-24
5. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль – Х.: Віровець А.П. «Апостроф», 2012. – 259 с.
6. Гринченко А.С., Алферов А.И. Методология обеспечения механической надежности почвообрабатывающих машин при проектировании / А.С. Гринченко, А.И. Алферов // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Vol. 18. No. 5., Lublin, 2016. – С. 205-212
7. Войтюк Д.Г., Човнюк Ю.В., Гуменюк Ю.О., Гуцол О.П. Физико-механический анализ автоколебательных режимов работы вибрационной рыхлительной лапы культиватора / Д.Г. Войтюк, Ю.В. Човнюк, Ю.О. Гуменюк, О.П. Гуцол // Вібрації в техніці та технологіях Вібрації в техніці та технологіях. – Вып. 4 (68), НУБіП, 2012. – С. 24-30

### Summary

**Grinchenko O.S., Alfyorov O.I., Yurueva G.P.** Forecasting and managing mechanical reliable with aid investment method

*The paper proposes an inversion method that allows determining the load parameters of elastic elements.*

*Elastic elements in machines usually withstand significant stress, working in modes associated with the emergence of large deformations. Recently, the use of elastic elements has*

*spread to the soil machinery: cultivators with working bodies on an elastic suspension and harrows. In connection with this, the urgency of the problem of ensuring the robust reliability of aggregates with a large number of elements, which under the conditions of use elastically deformed. Solving such a problem is necessary during design, when the future failure of technology is laid.*

*Implementation of the inversion method of predicting the reliability of elastic elements is considered by the example of the tractor's rider. The analysis of censored statistical data on the reliability of the spring during agricultural work was carried out using a multiplicative method. The result is a tabl. 1, in which the intervals show the value of the probability of failure-free operation of the springs up to the time of 4800 moto-hours. Prior to this, there is a stabilization of the magnitude of the probability of failure at the level of 0.941, which is a sign of the sudden nature of the ensuing destruction.*

*The found characteristics of the equivalent loading springs at the next stage should be used to provide a given predicted level of failure due to the modernization and change of design parameters. The presence of a general model of reliability model allows for a given period to predict the probability of failure-free operation, which corresponds to a given set of parameters. In the design process, it is impossible to influence the intensity of the occurrence of extreme loads. Similarly, it is necessary to leave the characteristics of accidental dispersion of loads unchanged.*

**Keywords:** *inversion method, elastic element, extreme load, probability of failure-free operation, factor of reserve.*

## References

1. Grinchenko A.S., Alferov A.I. Osnovy prognozirovaniya i upravleniya nadezhnostyu v usloviyah ekstremalnykh nagruzok – H.: TOV «Planeta-Print», 2017. – 136 s.
2. Grinchenko A.S., Alferov A.I. Prognozirovanie nadezhnosti elementov mashin pri sluchaynom puassonovskom potoke ekstremalnykh nagruzheniy / A.S. Grinchenko, A.I. Alferov // Naukoviy zhurnal «TehnIchniy servIs agropromislovogo, Ilsovogo ta transportnogo kompleksIV». – 2017. – #7 – S. 141-148
3. Grinchenko A.S. Inversionnyiy metod otsenki raschetnykh harakteristik ekspluatatsionnoy nagruzhenosti elementov traktora / A.S. Grinchenko // Traktornaya energetika v rasteniievodstve. Sb. nauch. trudov HGTUSH, Harkov, 2002. – S.62 – 77
4. Grinchenko A.S. Inversionnoe otsenivanie ekvivalentnoy nagruzhenosti. Materialyi konferentsii «Sovremennyye problemy innovatsionnogo razvitiya agroinzhenierii» BGSA im. V.Ya. Gorina, Belgorod, 2012. – S. 20-24
5. Grinchenko A.S. Mehanicheskaya nadezhnost mobilnykh mashin: Otsenka, modelirovanie, kontrol – H.: VIrovets A.P. «Apostrof», 2012. – 259 s.
6. Grinchenko A.S., Alferov A.I. Metodologiya obespecheniya mehanicheskoy nadezhnosti pochvoobrabatyivayuschih mashin pri proektirovanii / A.S. Grinchenko, A.I. Alferov // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Vol. 18. No. 5., Lublin, 2016. – S. 205-212
7. Voytyuk D.G., Chovnyuk Yu.V., Gumenyuk Yu.O., Gutsol O.P. Fiziko-mehanicheskiy analiz avtokolebatelnykh rezhimov raboty vibratsionnoy ryihlitelnoy lapyi kultivatora / D.G. Voytyuk, Yu.V. Chovnyuk, Yu.O. Gumenyuk, O.P. Gutsol // VIbratsIYi v tehnItSI ta tehnologIyah VIbratsIYi v tehnItSI ta tehnologIyah. – Vyip. 4 (68), NUBIP, 2012. – S. 24-30