Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 5-9*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.01.005-009

УДК 621.81

СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ КУЛЬТИВАТОРІВ З КОЛИВАЛЬНИМ РУХОМ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

О. І. Алфьоров

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.

Кореспонденція автора: alfogor@i.ua.

Історія статті: отримано – грудень 2018, акцептовано – травень 2019.
Бібл. 16, рис. 2, табл. 1.

Анотація. Виконано репрезентативний статистичний аналіз експлуатаційної інформації щодо надійності ґрунтообробних агрегатів, які мають коливальний рух робочих органів. Розглянуто результати роботи в умовах експлуатації тринадцяти культиваторів із сумарним наробітком понад 280 тис. га. Експлуатаційні дослідження проводились в 7 областях України та характеризували різноманітні грунтово-кліматичні умови: механічні властивості ґрунту, щільність, вологість. Встановлено виникнення раптових відмов внаслідок зламу пружніх стійок робочих органів культиваторів. Зафіксовано 42 раптові відмови серед 260 стійок, що випробовувались.

Використовуючи методику статистичного аналізу надійності, що відповідає СОУ 74.3-37-04604309-904 було визначено імовірність безвідмовної роботи пружної стійки культиватора та зміну цього показника в залежності від наробітку агрегату. Встановлено, що статистична модель надійності відповідає теоретичній моделі квазістатичного руйнування послідовних систем.

Визначено гамма-відсотковий наробіток стійки до раптової відмови при різноманітних значеннях гамма. Запропоновано два можливі напрямки робіт, що повинні привести до покращення якості пружних стійок культиваторів з коливальним рухом робочих органів. Вказано на достатність отриманих даних для застосування концепції інверсійного методу, що поєднує теоретичні моделі надійності з конкретними показниками статистичної моделі, які отримані в залежності від наробітку пружних стійок для забезпечення керованості результатів покращення їх якості.

Ключові слова: надійність, культиватор, пружна стійка, статистичний аналіз, статистична модель надійності.

Постановка проблеми

Обстеження культиваторів, які виконують передпосівний та загальний обробіток ґрунту стрілчастими лапами, показує, що вони здебільшого закріплені до рами культиватору за допомогою S-образних або С-образних пружних стійок. Такі стійки, деформуючись, призводять до автоколивального руху робочих органів, що у порівнянні з жорстким закріпленням має суттєві переваги, підвищуючи якість обробки ґрунту за рахунок додаткової динамічності.

Аналіз останніх досліджень

Однак практика використання культиваторів у виробничих умовах виявила і негативні наслідки збільшення динамічності робочих органів [1]. Насамперед підвищена гнучкість стійок, яка є необхідною умовою виникнення стаціонарних автоколивань з достатньо великою амплітудою, призводить іноді до раптових руйнувань стійок, обумовлених випадково виникаючими ущільненнями ґрунту або засміченістю ділянки, що обробляли [2]. Окрім цього підвищена динамічна навантаженість призводить до передчасної втрати зусиль затягу болтових кріплень стійок до рами культиватору, що є поступовим пошкодженням [3].

Таким чином актуальним є комплекс проблем механічної надійності культиваторів з коливальним рухом робочих органів. Його успішне вирішення пов’язане з раціональним визначенням коефіцієнту запасу міцності пружних стійок агрегату [4]. Коефіцієнт запасу стійки повинен одночасно задовольняти протирічливим вимогам: забезпечувати міцність стійки і створювати необхідну гнучкість, яка призводить до якісної обробки ґрунту за допомогою коливального руху робочих органів [5].

Мета досліджень

Метою роботи є статистичний аналіз і побудова моделі надійності культиваторів з пружними стійками в експлуатаційних умовах.

Результати досліджень

Аналіз надійності у реальних експлуатаційних умовах дозволяє відокремити питання визначення показників, які пов’язані з раптовими відмовами від технологічної надійності агрегату, що визначається якістю обробки ґрунту. Виконувався збір

експлуатаційних даних щодо раптових відмов культиваторів з пружними С-образними стійками, на яких закріплені стрільчаті лапи. Експлуатаційні випробування за обсягом є статистично репрезентативними і проводились в 7 областях України (рис. 1), охоплюють різноманітні ґрунтово-кліматичні умови: механічні властивості ґрунту, щільність, вологість і таке ін. В усіх випадках руйнування стійок мав місце раптовий злам. Наробіток до раптових відмов фіксувався у гектарах обробленої площі.

Загалом спостереження за експлуатацією пружних стійок проводились на 13 культиваторах. Напрацювання агрегатів складало від однієї до сорока тисяч гектарів обробленої площі. Було зафіксовано 42 раптові відмови: злам стійок. За час спостережень сумарний наробіток культиваторів склав більш ніж 280 тис. га. Враховуючи кількість пружних стійок на кожному культиваторі обсягом випробувань слід вважати роботу 260 стійок до першої відмови або до призупинення випробувань, які утворюють багаторазово цензуровану за наробітком вибірку статистичних даних.

Методологією статистичного аналізу інформації щодо надійності є непараметричний метод аналізу [1, 2, 8, 11, 14] цензурованої вибірки, згрупованої по інтервалах, яка наведена у таблиці 1.

У межі кожного інтервалу наробітку потрапляла певна кількість стійок, що відмовили (були зруйновані) – n_o, або випробування яких на момент аналізу були призупинені – $n_{пр}$, хоча руйнування не відбулось. Усі наробітки до відмови та до призупинення випробувань (без відмови) утворюють єдину загальну вибірку випадкових наробітків. Цю єдину вибірку наробітків до відмови та наробітків до призупинення випробувань, якщо відмова ще не відбулась, поділяють на однакові інтервали, починаючи с того першого інтервалу, де відмов нема. Емпірична функція розподілу F_c, яка побудована за допомогою цієї загальної нецензурованої вибірки, наведена у таблиці 1. Вибірка є повною і показує залежність, за якою оцінюється функція сумарної імовірності потрапляння відмов або призупинення випробувань у відповідний інтервал. Треба відзначити, що потрапляння в інтервал наробітку до призупинення випробувань визначалось по кожному з 13 культиваторів, в яких виникала перша відмова стійки. Кількість наробітків до призупинення випробувань $n_{пр}$ в інтервалі визначалась з урахуванням кількості одночасно працюючих стійок у агрегаті.

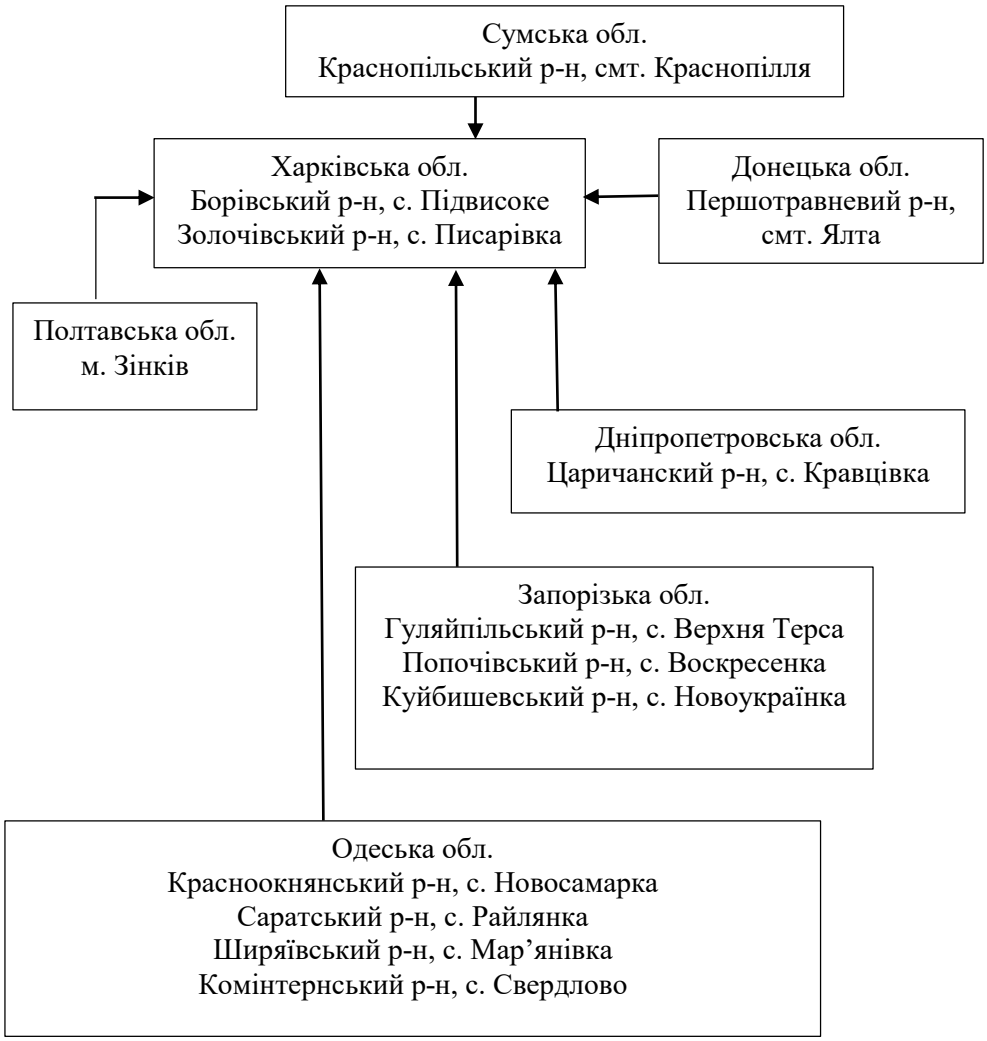

Рис. 1. Географічне розташування місць експлуатаційних випробувань культиваторів.
Fig. 1. Geographical location of places of testing of cultivators.

Таблиця 1. Статистичні дані та результати аналізу.
Table 1. Statistical data and results of analysis.

№ інт	Межі інтервалу, га	n_o	$n_{пр}$	F_c	N_{ci}	W_i	Θ_i	N_i	R_i
1	1000 ÷ 4000	13	38	0,19615	260	0,19615	0,5270	239,97	0,9458
2	4000 ÷ 7000	9	17	0,29615	209	0,12440	0,5166	200,22	0,9033
3	7000 ÷ 10000	9	69	0,59615	183	0,42623	0,5690	143,74	0,8467
4	10000 ÷ 13000	2	17	0,66923	105	0,18095	0,5249	96,08	0,8291
5	13000 ÷ 16000	3	16	0,74230	86	0,22090	0,5312	77,50	0,7970
6	16000 ÷ 19000	2	32	0,87307	52	0,65380	0,6296	46,85	0,7630
7	19000 ÷ 22000	0	0	0,87307	52	0	0	33,00	0,7630
8	22000 ÷ 25000	1	0	0,87692	51	0,0196	0,5025	32,00	0,7391
9	25000 ÷ 28000	2	16	0,94615	33	0,54545	0,5973	22,44	0,6733
10	28000 ÷ 31000	0	0	0,94615	33	0	0	14,00	0,6733
11	31000 ÷ 34000	1	13	1,000	19	-	-	-	-

Потім послідовно в кожному інтервалі визначають сумарну кількість стійок, які випробувались до цього інтервалу або обсяг цензурованої вибірки наробітків в *i*-му інтервалі:

$$N_{ci} = N - \sum_{к=1}^{i-1} (n_{ок} + n_{прк}), \qquad (1)$$

де: N – загальний обсяг вибірки наробітків до відмови та до припинення випробувань. У розглядаємої вибірки $N = 260$.

Визначають значення відносної частоти W_i наробітків у кожному інтервалі:

$$W_i = \frac{n_{ок} + n_{прк}}{N_{ci}}. \qquad (2)$$

Визначають частку враховуємих [3] в кожному інтервалі наробітків до призупинення випробувань:

$$\Theta_i = \begin{cases} \dfrac{1-\sqrt{1-W_i}}{W_i}, якщо W_i > 0; \\ 0, якщо W_i = 0. \end{cases} \qquad (3)$$

Кількість стійок, які були умовно випробувані в кожному інтервалі групування вибірки, обраховувалась за формулою:

$$N_i = N_{ci} - \Theta_i \cdot n_{пpi}; i = 1,2,..., к. \qquad (4)$$

Статистичне оцінювання імовірності безвідмовної роботи пружних стійок культиватору виконувалось за допомогою множникового [4, 9, 13] методу непараметричного оцінювання:

$$R_i = \prod_{к=1}^{i} \left(1 - \frac{n_{ок}}{N_к}\right). \qquad (5)$$

Вихідні дані та результати статистичного аналізу надійності пружних стійок за раптовими відмовами наведені у таблиці 1. Аналіз згрупованої вибірки закінчується передостаннім інтервалом. Методика статистичного аналізу надійності відповідає галузевому стандарту Мінагрополітики України СОУ 74.3-37-04604309-904:2011 «Оцінювання показників надійності при скорочених ресурсних випробуваннях», що розроблений за участю автора публікуємої статті.

Статистичний аналіз вибіркових даних щодо раптових відмов культиваторів показав (рис. 2), що функція зміни імовірності безвідмовної роботи пружних стійок відносно раптових відмов має типовий вигляд. Це свідчить, що статистична модель надійності відповідає теоретичній моделі квазистатичного руйнування послідовних систем [5, 10]. Виконано статистичний аналіз і отримано відповідну модель зміни імовірності безвідмовної роботи пружної стійки культиватора в залежності від наробітку (рис. 2), яка є достатньо репрезентативою (260 стійок) і відображає рівень надійності за основним її показником.

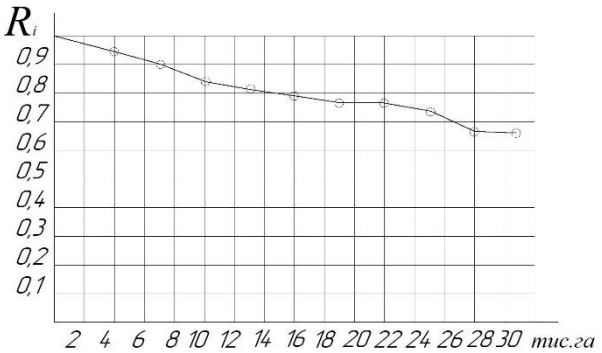

Рис. 2. Зміна імовірності безвідмовної роботи стійок в залежності від наробітку.

Fig. 2. Change in the probability of stands depending on developments.

Слід вказати, що оцінка проведена за раптовими відмовами (злам стійки) і вказує на гамма – відсотковий наробіток на відмову, який згідно з діючим стандартом [7] є наробітком, протягом якого відмова об'єкта не виникне з імовірністю γ, вираженою у відсотках. Графік на рис. 2 і дані, наведені у табл. 1 дозволяють, наприклад, визначити, що 90% гамма – відсотковий наробіток стійки до раптової відмови складає приблизно 7 тис. га, а 80 % стійок відпрацюють безвідмовно близько 16 тис. га обробляємої площі. Враховуючи, що кожний злам стійки потребує не тільки її заміни, але і призводить до втрат робочого часу культиватора у сезон виконання необхідних польових робіт, слід вважати, що рівень конкурентоспроможності виробника пружних стійок не є достатнім, а їх якість потребує покращення.

Можливо вказати на два напрямки робіт, що повинні привести до покращення якості пружних стійок культиваторів з коливальним рухом робочих органів. Перший полягає у введенні в конструкцію пружних стійок належних обмежувачів пружних

переміщень. Ці обмежувачі мають на меті виключати можливість зламу стійок під дією сил, що призводять до раптового крихкого руйнування і одночасно не впливати на виникнення достатніх автоколивань робочих органів, які забезпечують якість робочого процесу рихлення ґрунту.

Наявність отриманої статистичної моделі надійності культиваторів з пружними стійками дозволяє реалізовувати ще один напрямок покращення якості стійок. Цей напрямок полягає у використанні інверсійного методу керування надійністю [6, 12, 15, 16]. Реалізація цього методу можлива тоді, коли побудована репрезентативна статистична модель надійності, отримана в умовах експлуатації досліджуваного об'єкту. Побудова такої моделі дозволяє додатково використати теоретичну модель надійності у випадку раптових відмов [5, 10].

Висновки

1. Концепцією інверсійного методу є поєднання можливостей теоретичної моделі надійності, яка пристосована до прогнозування імовірності безвідмовної роботи, обумовленої раптовими відмовами з конкретними показниками статистичної моделі, які отримані в залежності від наробітку пружних стійок.

2. Ця концепція дозволяє розв'язати обернену інверсійну задачу: вважаючи відомою статистично визначену залежність імовірності безвідмовної роботи від наробітку, знаходити відповідні еквівалентні характеристики щодо запасу міцності і інтенсивності випадкових навантажень. Покращення якості стійок буде таким чином керованим і прогнозованим.

Список літератури

1. *Беляев Ю. К.* Непараметрические методы в задачах обработки результатов испытаний и эксплуатации. Москва. Знание, 1984. 60 с.

2. *Беляев Ю. К.* Статистические методы обработки неполных данных о надежности изделий. Москва. Знание, 1987. 55 с.

3. *Гринченко А. С.* Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль Харків. Віровець А.П. «Апостроф», 2012. 259 с.

4. *ГОСТ 27.504-84*. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по цензурированным выборкам. Москва. Издательство стандартов, 1984. 41 с.

5. *Гринченко А. С., Алферов А. И.* Основы прогнозирования и управления надежностью в условиях экстремальных нагрузок. Харків. ТОВ «Планета-Принт», 2017. 136 с.

6. *Гринченко О. С., Алфьоров О. І., Юр'єва Г. П.* Прогнозування та керування механічною надійністю за допомогою інверсійного методу. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 12. С. 210–213.

7. *ДСТУ 2860-94*. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ. 88 с.

8. *G. Upton, I. Cook*. Oxford dictionary of Statistics. 2008. 453 p.

9. *Гринченко А. С.* Численное решение задач прогнозирования и обеспечения прочностной надежности при многократных перегрузках. *Вісник ХДТУСГ*. Харків. 2001. Вип. 8, т. 1. С. 257–264.

10. *Гринченко А. С.* Некоторые прикладные модели прочностной надежности при внезапных отказах. *Вестник национального технического университета "ХПИ"*. Харьков. 2003. № 12. Т. 1. С. 51–58.

11. *Болотин В. В.* Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва. Стройиздат, 1971. 256 с.

12. *Жовдак В. А., Мищенко И. В.* Прогнозирование надежности элементов конструкций с учетом технологических и эксплуатационных факторов. Харьков. ХГПУ, 1999. 120 с.

13. *Анилович В. Я., Гринченко А. С., Литвиненко В. Л.* Надежность машин в задачах и примерах. Харьков. Око. 2001. 320 с.

14. *Soong T. T.* Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers, State University of New York at Buffalo, Buffalo, New York, USA. 2004.

15. *Алферов А. И.* Динамика движения и надежность рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов на упругой подвеске. *Вестник Харьковского национального университета сельского хозяйства имени Петра Василенко*. Харьків. 2015. № 158. С. 271–278.

16. *Гринченко А. С., Алферов А. И.* Теоретические модели функционирования и обеспечения механической надежности культиваторов с подпружиненными рабочими органами. *Общегосударственный межведомственный научно-технический сборник*. Кировоград. 2015. № 45. Часть I. С. 205–212.

References

1. *Belyaev, Yu. K.* (1984). Non-parametric methods in problems of processing test results and operation. Moscow. 60.

2. *Belyaev, Yu. K.* (1987). Statistical methods for processing incomplete data on product reliability. Moscow. 55.

3. *Grinchenko, A. S.* (2012). Mechanical reliability of mobile machines: Evaluation, modeling, control. Kharkiv. 259.

4. *GOST 27.504-84.* (1984). Reliability in engineering. Methods for assessing the reliability of censored samples. Moscow. 41.

5. *Grinchenko, A. S., Alfyorov, A. I.* (2017). Fundamentals of forecasting and reliability management under extreme loads. Kharkiv. 36.

6. *Grinchenko, O. S., Alfyorov, O. I., Yuryeva, G. P.* (2018). The prognosis and the kerwan mechanic supernova for the extraverse method. *Technical service of agropromislovy, lisovogo and transport complex*. № 12. 210-213.

7. *DSTU 2860-94.* (1994). Reliability technics. Terms and conditions. Kyiv. 88.

8. *G. Upton, I. Cook*. (2008). Oxford dictionary of Statistics. 453.

9. *Grinchenko, A. S.* (2001). Numerical solution of problems of forecasting and ensuring strength reliability with multiple overloads. *Visnik HDTUSG*. Kharkiv. Vol. 8. T. 1. 257-264.

10. *Grinchenko, A. S.* (2003). Some applied models of strength reliability with sudden failures. *Bulletin of the National Technical University "KPI"*. Kharkov, No 12. Vol. 1. 51-58.

11. *Bolotin, V. V.* (1971). Application of the methods of probability theory and reliability theory in the calculations of structures. Moscow. 256.

12. *Zhovdak, V. A., Mishchenko, I. V.* (1999). Prediction of the reliability of structural elements taking into account technological and operational factors. Kharkov. 120.

13. *Anilovich, V. Ya., Grinchenko, A. S., Litvinenko, V. L.* (2001). Reliability of machines in problems and examples. Kharkov. 320.

14. *Soong, T. T.* (2004). Fundamentals of Probability and Statistics, Engineers, State University of New York at Buffalo, Buffalo, New York, USA.

15. *Alfyorov, O. I.* (2015). Dynamics of movement and reliability of the working bodies of tillage units on the elastic suspension. *Bulletin of the Kharkiv National University of Agriculture named after Peter Vasilenko*. Kharkiv. Vol. 158. 271-278.

16. *Grinchenko A. S., Alfyorov, O. I.* (2015). Theoretical models of functioning and ensuring the mechanical reliability of cultivators with spring-loaded working bodies. *National interdepartmental scientific and technical collection*. Kirovograd. Vol. 45, Part I. 205-212.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ КУЛЬТИВАТОРОВ С КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

А. И. Алфёров

Аннотация. Выполнен репрезентативный статистический анализ эксплуатационной информации по надежности почвообрабатывающих агрегатов, имеющих колебательное движение рабочих органов. Рассмотрены результаты работы в условиях эксплуатации тринадцати культиваторов с суммарной наработкой более 280 тыс. га. Эксплуатационные исследования проводились в 7 областях Украины и характеризовали различные почвенно-климатические условия: механические свойства почвы, плотность, влажность и проч.

Установлено возникновение внезапных отказов вследствие излома упругих стоек рабочих органов культиваторов. Зафиксировано 42 внезапных отказа среди испытывавшихся 260 стоек.

Используя методику статистического анализа надежности, соответствующую отраслевому стандарту Минагрополитики Украины СОУ 74.3-37-04604309-904: 2011 «Оценка показателей надежности при сокращенных ресурсных испытаниях» были определены вероятность безотказной работы упругой стойки культиватора и изменение этого показателя в зависимости от наработки агрегата. Установлено, что статистическая модель надежности соответствует теоретической модели квазистатического разрушения последовательных систем.

Определен гамма-процентный ресурс стойки по внезапным отказам при различных значениях гамма. Предложено два возможных направления работ, которые должны привести к улучшению качества упругих стоек культиваторов с колебательным движением рабочих органов. Указано на достаточность полученных данных для применения концепции инверсионного метода, сочетающего теоретические модели надежности с конкретными показателями статистической модели, полученными в зависимости от наработки упругих стоек, для обеспечения управляемости результатов улучшения их качества

Ключевые слова: надежность, культиватор, упругая стойка, статистический анализ, статистическая модель надежности.

STATISTICAL MODEL OF RELIABILITY OF CULTIVATORS WITH VIBRATORY MOVEMENT OF WORKING BODIES

O. I. Alfyorov

Abstract. A representative statistical analysis of the operational information on the reliability of tillage units with oscillatory movement of the working bodies was performed. The results of work under the operating conditions of thirteen cultivators with a total operating time of more than 280 thousand hectares are considered. Operational studies were conducted in 7 regions of Ukraine and characterized various soil and climatic conditions: the mechanical properties of the soil, density, humidity, and so on. The occurrence of sudden failures due to the fracture of the elastic racks of the cultivators' working bodies has been established 42 sudden failures among 260 racks tested were recorded.

Using the method of statistical analysis of reliability that meets the industry standard of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine SOU 74.3-37-04604309-904:2011 “Evaluation of reliability indicators with reduced life tests”, the probability of failure-free operation of the elastic cultivator stand and the change of this indicator depending on the operating time of the unit were determined. It is established that the statistical model of reliability corresponds to the theoretical model of quasi-static destruction of sequential systems.

The gamma-percentage resource of the rack for sudden failures at various values of gamma is determined. Two possible directions of work have been proposed, which should lead to an improvement in the quality of the elastic struts of cultivators with oscillating motion of the working bodies. The sufficiency of the obtained data is indicated for the application of the concept of the inversion method combining theoretical models of reliability with specific indicators of the statistical model obtained depending on the operating time of the elastic struts to ensure the manageability of the results of improving their quality.

Key words: reliability, cultivator, elastic rack, statistical analysis, statistical model of reliability.

О. І. Алфьоров ORCID 0000-0002-0357-3141.