

УДК 621.81

А.С. Гринченко, проф., д-р техн. наук, А.И. Алферов, доц., канд. техн. наук, А.П. Юрьева, асист.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина, anna.yirueva@yandex.ua

Анализ и прогнозирование механической надежности сельскохозяйственных культиваторов

В статье рассмотрены вопросы прогнозирования и обеспечения надежности сельскохозяйственных культиваторов при возникновении внезапных механических отказов элементов упругих подвесок рабочих органов. При этом учитываются коэффициенты вариации несущей способности и экстремальных нагрузок, ожидаемое число экстремальных нагружений, а также количество упругих элементов в культиваторе.

механическая надежность, упругая стойка, коэффициент запаса, несущая способность, коэффициент вариации, внезапный отказ, экстремальная нагрузка

О.С. Гринченко, проф., д-р техн. наук, О.І. Алфьоров, доц., канд. техн. наук, Г.П. Юр'єва, асист.

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

Аналіз і прогнозування механічної надійності сільськогосподарських культиваторів

У статті розглянуті питання прогнозування та забезпечення надійності сільськогосподарських культиваторів при виникненні раптових механічних відмов елементів пружних підвісок робочих органів. При цьому враховуються коефіцієнти варіації несучої здатності і екстремальних навантажень, очікуване число екстремальних навантажень, а також кількість пружних елементів в культиваторі.

механічна надійність, пружна стійка, коефіцієнт запасу, несуча здатність, коефіцієнт варіації, раптова відмова, екстремальні навантаження

Постановка проблемы. В статье рассмотрены вопросы прогнозирования и обеспечения надежности сельскохозяйственных культиваторов при возникновении внезапных механических отказов элементов упругих подвесок рабочих органов. Внезапные отказы могут быть обусловлены многократно воздействующими на упругие элементы экстремальными нагрузками. Обеспечение надежности культиваторов при проектировании выполняется за счет назначения коэффициентов запаса, которые представляют собой отношение средней величины несущей способности элементов к средним значениям действующих экстремальных нагрузок. При этом учитываются коэффициенты вариации несущей способности и экстремальных нагрузок, ожидаемое число экстремальных нагружений, а также количество упругих элементов в культиваторе. В случае равенства коэффициентов вариации несущей способности и нагрузок задача определения коэффициента запаса, который обеспечивает заданную величину вероятности безотказной работы культиватора, решается аналитически. При рассмотрении общего случая, когда коэффициент вариации нагрузки превышает величину коэффициента вариации несущей способности применялся метод статистического моделирования. Для ряда моделей культиваторов и комбинированных агрегатов, использующих рабочие органы на упругой подвеске, определены допустимые значения коэффициентов запаса.

© В А.С. Гринченко, А.И. Алферов, А.П. Юрьева, 2015

Обеспечение достаточно высокого уровня механической надежности является одной из главных задач при создании современных машин. На стадии проектирования важным является определение необходимой величины коэффициента запаса, который обеспечит заданный уровень вероятности безотказной работы. Распространенным видом механических отказов элементов упругих подвесок рабочих органов культиваторов является внезапное разрушение или недопустимая остаточная деформация. Прогнозирование вероятности безотказной работы культиватора в этом случае может базироваться на стохастической модели возникновения внезапных отказов, обусловленных первым превышением величиной экстремальных нагрузок величины несущей способности какого-либо из элементов. Экстремальные нагрузки и несущая способность элементов предполагаются случайными величинами, причем процесс нагружения описывается дискретной последовательностью независимых случайных экстремальных нагружений.

Анализ последних исследований и публикаций. Деформируемость и кинематика упругих стоек культиваторов рассматривались в [1]. Конструктивные особенности и анализ эксплуатационной нагруженности элементов упругих подвесок рабочих органов культиваторов приведен в работах [2, 3]. Теория прогнозирования и обеспечения надежности элементов машин при внезапных механических отказах и многократном экстремальном нагружении изложена в [4-8]. Способы определения достаточных коэффициентов запаса, обеспечивающих заданную величину вероятности безотказной работы системы с последовательной структурой, исследованы в [9]. В [10] с использованием статистического моделирования был проведен анализ влияния уровня рассеивания экстремальной нагрузки (по коэффициенту вариации) и несущей способности на характер изменения вероятности безотказной работы по внезапным механическим отказам в зависимости от числа экстремальных нагружений.

Постановка задания. Разработка и обоснование способов обеспечения механической надежности культиваторов при внезапных отказах и многократном экстремальном нагружении.

Изложение основного материала. Минимально необходимый (достаточный) коэффициент запаса, который обеспечит заданную величину вероятности безотказной работы γ по внезапным разрушениям при действии m экстремальных нагружений на последовательную в смысле надежности систему [9], состоящую из n элементов, определяется по формуле:

$$K_o(m, \gamma) = \left\{ \frac{\chi S_1(m)}{\ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)} \right\}^{\frac{1}{b}}, \quad (1)$$

где $\chi = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_{\min}}{K_i} \right)^b$ – величина, которая находится в пределах $1 \leq \chi \leq n$. Ее

можно трактовать, как условное число элементов в системе, приведенное к наиболее нагруженному;

$K_i = \frac{\bar{P}_{ni}}{\bar{P}_{ni}}$ – коэффициенты запаса по средним значениям несущей способности $\bar{P}_{ni}$

и экстремальных нагрузок P_{ni} элементов;

$K_{\min}$ – коэффициент запаса у наиболее нагруженных элементов;

b – общий параметр формы закона Вейбулла распределений несущей способности и экстремальных нагрузок; $S_1(m) = \sum_{j=1}^m \frac{1}{j}$.

Функция распределения закона Вейбулла имеет вид

$$F(P) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{P}{a}\right)^b\right\}, \quad (2)$$

где a – параметр масштаба распределения, а параметр формы b определяется только величиной коэффициента вариации V распределения. Если коэффициент вариации находится в пределах $0,08 \leq V \leq 1$, то величину b можно определять по приближенной формуле:

$$b = \frac{1,126}{V} + \frac{0,011}{V^2} - 0,137. \quad (3)$$

В случае, когда $m > 10$, то вместо выражения (1) можно использовать формулу:

$$K_o(m, \gamma) = \left\{ \frac{\chi[C + \ln(m + 0,51)]}{\ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)} \right\}^{\frac{1}{b}}, \quad C = 0,57721... \quad (4)$$

Формулы (1) и (4) справедливы лишь в случае, когда распределения несущей способности и нагрузки одинаковы по коэффициенту вариации и параметру b . Поэтому в общем случае был реализован метод, дающий возможность определять достаточную величину коэффициента запаса при различных значениях коэффициентов вариации распределения нагрузки и несущей способности, основанный на использовании статистического моделирования [10].

В качестве исследуемых объектов были выбраны культиваторы, имеющие различное количество лап (табл.1) закрепленных на упругих (S-образных) стойках (рис. 1).

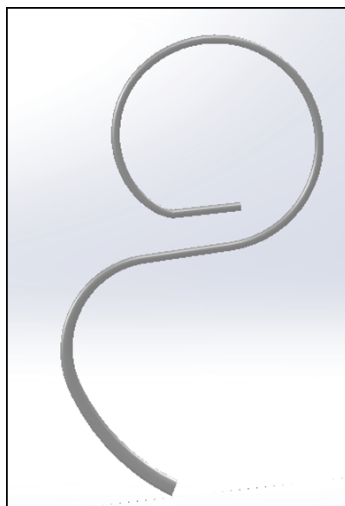


Рисунок 1 – S-образная упругая стойка лапы культиватора

Во время работы упругие стойки подобной конструкции подвержены большим деформациям и напряжениям, что приводит к накоплению усталостных повреждений в материале и поломкам. Это снижает надежность технологического процесса ввиду того, что разрушение любой из стоек приводит к простоям агрегата и дополнительным затратам на запчасти и восстановление.

Таблица 1 – Количество лап на культиваторах различных моделей

Модель культиватора	Количество лап
TS3ZS-1,5	9
TS3ZS-2,1	13
КШУ-12-01	31
Посевной комплекс «Терминатор», модель ТН6	42
Zeus BE19-6,70	57
Zeus BE19-7,90	71
Посевной комплекс «Терминатор», модель ТН12	84
Посевной комплекс «Терминатор», модель ТН18	126

При этом достаточный коэффициент запаса, который может обеспечить заданную вероятность безотказной работы культиватора $\gamma=0,99$ может быть определен с помощью применения статистического моделирования [10]. Моделирование выполнялось для случаев, когда распределение несущей способности имеет коэффициент вариации $V_n=0,1$, а коэффициент вариации нагрузки $V_n=0,15$ и $V_n=0,2$. При $V_n=0,1$ и $b=12,15$ расчеты K_0 проводились по формуле (4), в которой $\chi=n$. Ожидаемое количество экстремальных нагружений было принято $m=100$, при постоянном коэффициенте вариации распределения несущей способности и различных коэффициентах вариации экстремальной нагрузки V_n (табл.2).

Таблица 2 – Достаточный коэффициент запаса упругих стоек лап культиваторов различных моделей

n	$V_n=0,1$	$V_n=0,15$	$V_n=0,2$
	K_0	K_0	K_0
9	2	2,195	2,385
13	2,06	2,215	2,425
31	2,213	2,415	2,605
42	2,268	2,465	2,675
57	2,326	2,525	2,745
71	2,368	2,565	2,755
84	2,401	2,602	2,805
126	2,482	2,682	2,915

По результатам проведенных расчетов анализировалось влияние количества лап на культиваторе и уровня рассеивания экстремальной нагрузки (по коэффициенту вариации V_n) на характер изменения достаточного коэффициента запаса. Выявлено, что с увеличением количества лап величина коэффициента запаса, достаточная для обеспечения вероятности безотказной работы культиватора 0,99 существенно возрастает. Тем не менее, эта величина находится в пределах $2 \leq K_0 \leq 3$, и техническая реализация такого уровня вполне возможна. На практике, при серийном производстве упругих стоек вне зависимости от модели культиватора, можно рекомендовать величину достаточного коэффициента запаса $K_0=3$. Обеспечивать более высокий уровень безотказности культиватора по внезапным разрушениям упругих стоек целесообразно, используя два подхода.

Первый заключается в том, чтобы до начала реальной эксплуатации проводить серию предварительных нагружений стоек с отбраковкой деформированных или разрушенных экземпляров. Методы оценки необходимого количества предварительных

нагруженный, которое обеспечивает в дальнейшем заданный уровень безотказности, приведены в работе [4].

Второй подход связан с использованием резервов живучести системы. Системы с последовательной структурой и резервом живучести, состоящие из однотипных элементов, остаются работоспособными при отказе не одного, а некоторого заранее заданного числа элементов. Создать такой резерв можно, не включая постоянно дополнительные элементы в систему, а применяя их, как запасные части, находящиеся непосредственно вместе с агрегатом. Отказ лапы, устраняемый за счет использования запасных резервных элементов, будет условным (некритичным) отказом культиватора до тех пор, пока имеются возимые запасные элементы. Учитывая, что масса и размеры стоек с лапами, как и трудоемкость их замены в полевых условиях невелики, можно считать такой подход рациональным и достаточно легко реализуемым на практике. Теоретические основы оценки и обеспечения надежности систем с резервом живучести имеются в [7]. Эти методы следует использовать при расчете необходимого для каждой модели культиватора числа резервных стоек, обеспечивающих живучесть (отказоустойчивость) агрегата.

Заключение. Рассмотрена проблема обеспечения механической надежности сельскохозяйственных почвообрабатывающих агрегатов-культиваторов с рабочими органами на упругой подвеске. Выявлены закономерности влияния количества рабочих органов культиватора, а также уровня случайного рассеивания многократно действующей экстремальной нагрузки на величину достаточного коэффициента запаса упругих стоек. Определена нормативная величина коэффициента запаса упругой стойки, гарантирующая заданную вероятность безотказной работы культиватора. Предложены и обсуждены варианты обеспечения и повышения уровня надежности за счет использования предварительных контрольных нагружений, а также за счет введения в систему избыточности и повышения ее отказоустойчивости.

Список литературы

1. Игнатенко И.В. Упругая кинематика пружинных стоек культиватора [Текст] / И.В. Игнатенко, В.И. Гасилин // Динамика узлов и агрегатов сельскохозяйственных машин. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1972. – С.102-113.
2. Гринченко А.С. Анализ нагруженности и повреждаемости элементов предпосевного агрегата по результатам коэрциметрии [Текст] / А.С. Гринченко, В.В. Карабин, О.В. Полтавченко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка – Х.: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 100. – С. 38-43.
3. Гринченко А.С. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния S-образной стойки культиватора [Текст] / А.С. Гринченко, О.В. Полтавченко, А.И. Алферов, М.В. Марченко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 114. – С. 299-304.
4. Гринченко А.С. Модели прогнозирования прочностной надежности элементов машин при однократном разрушении [Текст] / А.С. Гринченко // Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вісник ХДТУСГ. – Х.: ХДТУСГ, 2000. – Вип. 4. – С.21-27.
5. Гринченко А.С. Некоторые прикладные модели прочностной надежности при внезапных отказах [Текст] / А.С. Гринченко // Динамика и прочность машин: Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Х., 2003. – Т.1, №12. – С.51-58.
6. Гринченко А.С. Модели прочностной надежности элементов и систем при экстремальном нагружении [Текст] / А.С.Гринченко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук.праць УкрНДІ ПВТ ім. Л.Погорілого. – Дослідницьке, 2006. – Вип. 9 (23), Кн.2. – С. 142-150.
7. Гринченко А.С. Прочностная надежность элементов и систем при многократном экстремальном нагружении [Текст] / А.С. Гринченко // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х., 2007. – Вип. 67. – С. 233-242.
8. Гринченко А.С. Нормирование и обеспечение механической надежности при экстремальных нагрузках [Текст] / А.С. Гринченко // Проблеми надійності машин та засобів механізації

- сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. – Х., 2012. – Вип. 128. – С. 70-76.
9. Гринченко А.С. Прикладные стохастические модели прогнозирования надежности при внезапных механических от казах [Текст] / А.С.Гринченко, А.П.Юрьева // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків, 2014. – Вип. 151. – С. 354-360.
 10. Гринченко А.С. Статистическое моделирование и прогнозирование надежности при внезапных механических от казах [Текст] / А.С.Гринченко, В.Б.Савченко, А.П.Юрьева // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 163. – С. 23-30.

Oleksandr Grynchenko, prof, DSc., Oleksyi Alferov, Assos. Prof., PhD tech. sci., Ganna Yirueva, assist.

Kharkiv national technical University of agriculture named Peter Vasilenko

Analysis and prognostication of mechanical reliability agricultural cultivators

Development and validation of methods to ensure mechanical reliability of the cultivators in case of sudden failures and repeated extreme loading.

In the article the questions of prognostication and providing of reliability of agricultural cultivators in case of beginning of sudden mechanical refusals of elements of resilient pendants of working organs are considered. The coefficients of variation of bearing strength and extreme loading, expected number of the extreme loading, and also quantity of resilient elements, in a cultivator are thus taken into account.

The revealed regularities of influence of number of working bodies of the cultivator, as well as the level of accidental dispersion multiply the current extreme load on the sufficient magnitude of the safety factor of elastic struts.

mechanical reliability, elastic rack, the safety factor, bearing capacity, coefficient of variation, sudden failure, extreme load

Одержано 06.11.15

УДК 631.316

А.А. Дудніков, проф., канд. техн. наук, А.О. Келемеш, канд. техн. наук, А.Г. Пасюта, канд. техн. наук

Полтавська державна аграрна академія, м.Полтава, Україна, anat_dudnikov@mail.ru

Вплив ґрунту на леза робочих органів ґрунтообробних машин

Наведено аналіз впливу ґрунту на ріжучі елементи робочих органів ґрунтообробних машин та розглянуто фактори, що забезпечують зниження навантажень.

ущільнений об'єм, робочий орган, затуплення леза, кут різання, параметри зношування

А.А. Дудніков, проф., канд. техн. наук, А.А. Келемеш, канд. техн. наук, А.Г. Пасюта, канд. техн. наук

Полтавская государственная аграрная академия, г.Полтава, Украина

Влияние почвы на лезвия рабочих органов почвообрабатывающих машин

Дан анализ воздействия почвы на режущие элементы рабочих органов почвообрабатывающих машин и рассмотрены факторы, обеспечивающие снижение нагрузок.

уплотнённый объём, рабочий орган, затупление лезвия, угол резания, параметры износа