

УДК 631.354+62-192

ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

*К.В. Шленкин, к.т.н., доцент, тел. 44-69-39, k-shlenkin@yandex.ru
ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»*

*Е.С. Зыкин, доктор технических наук, профессор, тел.: 8(8422)
55-95-95, evg-zykin@yandex.ru;*

*А.К. Шленкин, студент инженерного факультета, тел.
8(996)9532881, shlenkin15@yandex.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, надежность, вероятность безотказной работы, отказ, деталь, закон распределения, ресурс, дисперсия, долговечность.

Рассмотрены вопросы повышения надежности основных элементов (деталей и узлов) зерноуборочного комбайна. В результате теоретических исследований сформулированы научные положения для прогнозирования и повышения надежности зерноуборочного комбайна с применением закона распределения Вейбулла в условиях реальной эксплуатации.

Зерноуборочный комбайн является сложной системой, состоящей из множества элементов (деталей и узлов), требует изучения общих закономерностей о случайных явлениях, иметь дело с планированием экспериментов и обследований, с оценкой параметров и проверкой гипотез, с принятием решений при изучении этой сложной системы.

Надежность зерноуборочных комбайнов для потребителя является основополагающим критерием, который предопределяет эффективность использования, при их эксплуатации [1]. Невысокая надежность основных элементов данной системы проявляется частыми и продолжительными простоями, вызванными устранением последствий отказов. В результате чего, снижается эксплуатационная производительность этих систем, увеличиваются затраты на поддержание его в работоспособном состоянии, а также показатели экономической эффективности сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Отказы деталей и узлов вызываются большим числом разнообразных причин. Проследить связь между каждой из возможных причин отказа и возникновением отказа - сложная задача. Отказы принадлежат к категории случайных событий. Время до возникновения отказа

принимает различные значения в пределах некоторой области возможных значений и также принадлежит к категории случайных величин.

Поэтому в работах по исследованию и обеспечению надежности большое место занимают статистические методы исследований и вероятностные оценки надежности. При этом естественно, что целесообразно изучение физических основ надежности и выявление закономерностей, определяющих связь показателей надежности с причинами, их обуславливающими.

Одним из самых главных и определяющих свойств объекта является его безотказность [2, 3]. Вероятность безотказной работы системы $P(t)$ - вероятность того, что в заданном интервале времени t в системе не возникнет отказ. Если элементы в системе соединены последовательно относительно надежности, то выход из строя хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы. Если вероятности безотказной работы элементов в системе будут $p_1(t)$, $p_2(t)$,... $p_n(t)$ то в соответствии с теоремой умножения вероятности (вероятность произведения 2-х событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, при условии что первая имело место) вероятность безотказной работы системы имеет вид: $P(t) = p_1(t) p_2(t) \dots p_n(t)$. Если $p_1(t) = p_2(t) = p_n(t)$, тогда $P(t) = [p(t)]^n$. Так как вероятность безотказной работы элементов всегда меньше единицы, то из расчетов следует: 1) надежность системы уменьшается при увеличении числа элементов в ней; 2) вероятность безотказной работы системы всегда меньше вероятности безотказной работы самого ненадежного элемента (детали).

Рассматривая деталь как сложный объект, состоящий из ряда независимых по надежности несущих (изнашивающихся) поверхностей или элементов, характеризующихся своим значением ресурса и его дисперсией (распределением), предоставляется возможность, используя известные положения теории надежности, определить характеристики долговечности детали (ресурс, дисперсию ресурса) через аналогичные характеристики составляющих элементов [4,5].

Для выведения формул, связывающих характеристики долговечности детали с характеристиками долговечности ее элементов, используем следующие зависимости.

Известно, что средний ресурс любого изделия может быть определен через вероятность $P(t)$ его безотказной работы:

$$\bar{R} = \int_0^{\infty} P(t) \cdot dt . \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ сложного изделия, состоящего из n элементов, отказы которых независимы, равна произведению вероятностей безотказной работы $P_i(t)$ этих элементов

$$P(t) = P_1(t)P_2(t) \dots P_n(t). \quad (2)$$

Из двухпараметрического закона распределения Вейбулла, широко применяемого в теории и практике надежности, вероятность безотказной работы за время t характеризуется выражением [6, 7]:

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\Theta} \right)^\beta \right], \quad (3)$$

где β и Θ – соответственно параметры формулы и масштабы распределения.

Зависимость (2) с учетом выражения (3) может быть представлена в виде:

$$P(t) = \exp \left[- \left[\left(\frac{t}{\Theta_1} \right)^\beta + \left(\frac{t}{\Theta_2} \right)^\beta + \dots + \left(\frac{t}{\Theta_n} \right)^\beta \right] \right], \quad (4)$$

где β_i и Θ_i – параметры распределений отдельных элементов.

В целях построения номограмм для инженерных расчетов долговечности целесообразно преобразовать данное выражение путем нормирования ресурсов элементов детали.

Используя формулу закона распределения Вейбулла для среднего ресурса

$$\begin{aligned} \bar{R}_1 &= \Theta_1 \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_1} \right), \\ \bar{R}_2 &= \Theta_2 \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_2} \right), \\ \bar{R}_n &= \Theta_n \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_n} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

где \bar{R}_i – средние ресурсы элементов; $\Gamma(x)$ – гамма-функция, и проведя нормирование ресурсов по наименьшему из них, получим:

$$\frac{\overline{R_1}}{R_1} = 1, \frac{\overline{R_2}}{R_1} = K_2, \frac{\overline{R_3}}{R_1} = K_3, \dots, \frac{\overline{R_n}}{R_1} = K_n, K_1 > 1,$$

или

$$P(t) = \exp - \left\{ \left[t\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_1} \right) \right]^{\beta_1} + \left[\frac{t\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_2} \right)}{K_2} \right]^{\beta_2} + \dots + \left[\frac{t\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_n} \right)}{K_n} \right]^{\beta_n} \right\} \cdot dt \quad (6)$$

Дисперсию ресурса детали находят по формуле:

$$D = 2 \int_0^{\infty} tP(t) \cdot dt - \overline{R}^2. \quad (7)$$

Коэффициент вариации определяют по формуле:

$$V = \frac{\sqrt{D}}{\overline{R}}. \quad (8)$$

Программируемые электронно-вычислительные устройства позволяют реализовывать данный алгоритм для двух элементов, результаты расчетов представляются в виде номограмм. Полученные номограммы дают возможность по средним ресурсам и функционально связанным с коэффициентами вариации ресурсов параметрам формы распределений для двух элементов находить нормированный средний ресурс и его коэффициентов вариации для деталей, состоящих их этих двух элементов.

Библиографический список:

1. Шленкин, К.В. Теоретические предпосылки, оценки и прогнозирование надежности комбайна «ДОН-1500»/ К.В. Шленкин// Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые - агропромышленному комплексу - Технологические и экологические основы земледелия и животноводства в условиях лесостепи Поволжья. Ульяновск, ГСХА, 2001. – С.38...40.
2. Лезин, П.П. Формирование надежности сельскохозяйственной техники при ее ремонте. (Под редакцией Ю.А. Вантюсова). - Саратов.: Издательство Саратовского университета, 1987. -195с.
3. Шленкин, Константин Владимирович. Повышение надежности сборочных единиц комбайна «ДОН-1500» в условиях реальной эксплуатации: дис. ...

- канд. технических наук: 05.20.03 / К.В. Шленкин. – Саранск:, 2000. – 252 с.
4. Шалабода, А.В. Об эффективных сельскохозяйственных технологиях / А.В. Шалабода, К.В. Шленкин // Материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной актуальным вопросам профессионального и технологического образования в современных условиях - Профессиональное обучение: теория и практика. - Ульяновск: УлГПУ им. И.Н. Ульянова, 2018. - С.350-356.
 5. Шленкин, К.В. Математическая модель отказов зерноуборочного комбайна / К.В. Шленкин, А.А. Павлушин, А.К. Шленкин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции - Аграрный потенциал в системе продовольственного обеспечения: теория и практика. – Ульяновск: ГСХА им. П.А. Столыпина, 2016. – С.219-222.
 6. Шленкин, К.В. Теоретические основы определения ресурса основных звеньев комбайна «ДОН-1500» методом слабейшего звена / К.В. Шленкин // Материалы Всероссийской научно-технической конференции - Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем. – Саранск: МГУ им. Н.П. Огарева, 2009. - С.97-99.
 7. Шленкин, К.В. Управление надежностью зерноуборочных комбайнов / К.В. Шленкин // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию образования Института механики и энергетики - Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем. – Саранск: МГУ им. Н.П. Огарева, 2007. - С.129-133.

THE PROBABILITY OF FAILURE OF PARTS AND ASSEMBLIES OF COMBINE HARVESTER

Slinkin K.V., Zykin E.S., Slinkin A.K.

Key words: *combine harvester, reliability, probability of failure-free operation, failure, detail, distribution law, resource, dispersion, durability.*

The issues of improving the reliability of the main elements (parts and assemblies) of the combine harvester are considered. As a result of theoretical research, scientific provisions for forecasting and improving the reliability of the combine harvester with the use of the law of Weibull distribution in real operation are formulated.