

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  $\beta$  и  $\Theta$  – 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  $\beta_i$  и  $\Theta_i$  – 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

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

где  $\overline{R}_i$  – 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.*