

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЕДИНИЧНЫХ И КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

THEORETICAL BASICS FOR CALCULATION OF INDIVIDUAL OR COMPLEX OF RELIABILITY OF AGRICULTURAL TECHNIQUES

Академик академии с/х наук Грузии, доктор технических наук, полный профессор Кацитадзе Д.В.¹, докторант Сарджвеладзе Н.Н.²
 Грузинский аграрный университет, Грузия, Тбилиси, Аллея Давида Агмашенебели 13-ый км.

Abstract: there are shown the technical preconditions calculation of reliability of agricultural techniques using probability-statistical modeling the theory of massive service and Markov processes, the agricultural technique considered as a system passing from one condition to another, There are made Corresponding columns of passing and structural-logical schemes and Indicators of operational reliability of the agricultural technique with the definition of their work in the special soil-environmental conditions of Georgia.

KEYWORDS: Reliability, Durability, Non-failure operation, Service life, Agricultural technique

Проблема надежности является весьма важной для современной техники. Повышение качества и надежности машин обуславливает конкурентоспособность на мировом рынке и с определенной пропорцией эквивалентно увеличению их количества без всяких капиталовложений.

Надежность сельскохозяйственной техники еще не отвечает современным требованиям науки и техники и необходимо разрабатывать новые инновационные технологии для ее повышения.

Вследствие того, что выполнение трудоемких процессов сельскохозяйственных работ носит сезонный характер необходимо, чтобы машины имели высокие показатели безотказности. Так, например, уборка урожая проводится в сжатые сроки и отказы комбайнов вызывают большие потери. Аналогично можно сказать по вспашке и культивации почвы – при отказе плугов и культиваторов нарушаются нормальные сроки сева и культивации и соответственно уменьшается урожайность с/х культур.

Теория надежности требует единого подхода специалистов к основным понятиям и терминологиям поскольку имеются случаи когда ученые различных стран по разному трактуют эти термины.

Указанное обстоятельство явилось основанием для разработки единой терминологии теории надежности в области радиоэлектроники. Эта терминология была распространена и в сельскохозяйственную технику. По этой терминологии надежность это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования [2,3].

Многие специалисты надежность рассматривают как комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения, состоит из сочетаний свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Надежность машин оценивается единичными и комплексными показателями. Первые показатели характеризуют одно из свойств, составляющих надежность объекта, а вторые – несколько свойств.

В последнее время проведены многих исследований и разработаны теоретические основы расчета надежности машин [4,5]. Однако подобные исследования в области сельхозтехники проведены недостаточно.

При использовании общей теории надежности разработанной в авиации, радиоэлектронике, в автоматике и машиностроении, необходимо учитывать специфические условия и режимы работы сельхозтехники.

Сельскохозяйственная машина можно рассматривать как ремонтируемую систему, состоящую из подсистем и структурных элементов.

Нами разработана методика составления структурно-логических схем машин и расчета надежности [6].

Эта методика учитывает характер соединения элементов и показатели их надежности.

Ниже приведена последовательность расчета надежности по следующей структурно-логической схеме (Рис.1).

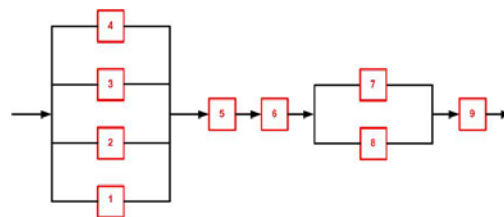


Рис. 1 Структурно-логическая схема соединения элементов машин.

По этой схеме можно рассчитать вероятность безотказной работы (ВБР) машины, если этот показатель для каждого структурного элемента равен $P_i(t) = 0.85$

$$P(t) = P_{1...4}(t) \cdot P_5(t) \cdot P_6(t) \cdot P_{7...8}(t) \cdot P_9(t) = (1 - (1 - 0.85)^4) \cdot 0.85 \cdot 0.85 \cdot (1 - (1 - 0.85)^2) \cdot 0.85 = 0.58... (1)$$

При использовании этой методики необходимо учитывать различие сельхозтехники от объектов радиоэлектроники.

Стационарный поток отказов в последних начинается значительно раньше, а в сельхозтехнике иногда вообще не

начинается и отправляется объект на ремонт. Однако подобные исследования в области сельхозтехники неремонтируемых машин, непостоянна и зависит от ремонтно-профилактических воздействий. На рис.2 показана схема функционирования сельскохозяйственной техники.

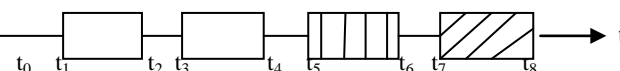


рис. 2 Схема функционирования сельскохозяйственной техники.

Согласно этой схеме возможны следующие этапы функционирования сельхозтехники:

$(t_0...t_1), (t_2...t_3), (t_4...t_5), (t_6...t_7)$ - техника является работоспособной.

$(t_1...t_2), (t_3...t_4)$ - Техника неработоспособна-проводится регулировка.

$(t_5...t_6)$ - Техника неработоспособна – проводится техническое обслуживание.

$(t_7...t_8)$ – Техника неработоспособна - производится ремонт.

Данный график относится одному межремонтному циклу и с его помощью можно визуальнo оценить надежность с.х машины. В частности, чем короче отрезки

$(t_0...t_1), (t_2...t_3), (t_4...t_5), (t_5...t_6)$ и $(t_6...t_7)$, тем меньше безотказность сельхозтехники. Если эти отрезки являются длинными и реже встречаются $(t_1...t_2), (t_3...t_4), (t_5...t_6), (t_7...t_8)$, тогда показатели безотказности объекта значительно высокие.

В общем случае надежность сельхозмашин является сложной функцией и ее можно представить так:

$$\varphi(t) = \varphi(A, B, C, D, E, K)...(2)$$

- A – показатели безотказности;
- B – показатели долговечности.
- C – показатели ремонтпригодности;
- B – показатели сохраняемости;
- E – комплексные показатели;
- K – факторы, учитывающие специфичные условия работы сельхозтехники.

Получение математической модели надежности сложная задача и по этому она оцениваются отдельными показателями. Такими являются единичные показатели:

$P(t)$ – вероятность безотказной работы сельхозтехники в интервале времени – t.

T – наработка на отказ, час.

$\lambda(t)$ - интенсивность отказов час⁻¹

$\omega(t)$ - параметр потока отказов, час.⁻¹

t - среднее время восстановления, час.

И комплексные показатели:

K_r – коэффициент готовности.

$K_{т.и.}$ -коэффициент технического использования.

В общем случае ВБР можно определить так:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)...(3)$$

$P_1(t)$ - ВБР при внезапных отказах.

$P_2(t)$ - ВБР при постепенных отказах.

Наши теоретические и экспериментальные исследования [1.3.6]

показали, что в большинстве случаев $P_1(t)$ - описывается

экспоненциальным законом, а $P_2(t)$ - нормальным. Тогда

(3) уравнение принимает вид:

$$P(t) = \frac{e^{-\lambda t}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} dt...(4)$$

σ - среднее квадратическое отклонение показателя надежности;

T - математическое ожидание времени безотказной работы машины.

При расчете надежности сельхозмашин часто имеет

место ситуация, когда переход из одного состояния в другое производится скачкообразно в случайный момент времени прогнозировать которого почти невозможно. Для восстанавливаемой системы будущее развитие Пуассоновских потоков отказов восстановления времени распределения событий зависит только от ее состояния в данном моменте и не зависит от того, что происходило в прошлом. Такие процессы называются Марковскими и для их расчета можно использовать теорию массового обслуживания [6.7] – графы состояний системы.

На рис.3 представлены графы возможных состояний сельхозтехники.

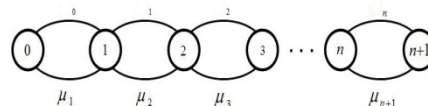


Рис.3. Графы перехода в различные состояния сельхозтехники

0,1,2,3 ..., n - возможные состояния сельхозтехники.

$\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3... \lambda_n$ и $\mu_1, \mu_2, \mu_3, ... \mu_n$ - интенсивности отказов и восстановлений.

Вершины граф соответствуют состоянию машин, а дуги их возможному переходу из одного состояния в другое.

Для определения вероятностей перехода в различные состояния согласно графам составляем систему дифференциальных уравнений Колмогорова. Такие вероятности называются интервально- переходными и их расчет тем труднее, чем больше состояний системы.

Поэтому, для решения этих уравнений приприменяем превращение Лапласа [6]:

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt...(5)$$

F(s) – изображение функции;

f(t) –оригинал.

Для обратного превращения Лапласа можно использовать разложение Хевисайда:

$$F(s) = \frac{D_1(s)}{D(s)}...(6)$$

$D_1(s)$ и $D(s)$ – рациональные алгебраические функции

$$L^{-1}(F(s)) = L^{-1}\left[\frac{D_1(s)}{D(s)}\right] = \sum_{i=1}^n \frac{D_1(sk)}{D(sk)} e^{-skt}...(7)$$

Сейчас рассмотрим применение этой теории для получения математической модели потока отказов машин. Граф состояния машин показан на рис.4

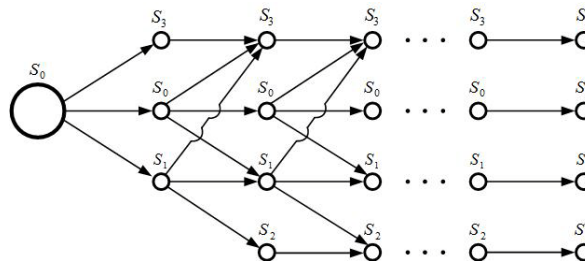


Рис.4 Графы возможных состояний сельхозтехники (системы)

Приняты следующие обозначения:

S_0 –система работоспособна;

S_1 – система неработоспособна из-за внезапных отказов

S₂ – система работоспособна, но дефектна вследствие деградации того или иного параметра.

S₃ – система нероботоспособна из-за деградации параметра.

S₄ – система работоспособна перед функционированием.

В начальный момент система состоит из работоспособных и нероботоспособных подсистем.

Возможны следующие переходы в различные состояния:

1. Когда t = 0, система находится в состоянии S₀ или S₄
2. Работоспособная подсистема может перейти в S₃ или S₁ состояния или оставаться в состоянии S₀.
3. Дефектная подсистема может перейти в состояния S₃ или S₄, или оставаться в состоянии S₁.
4. Переход подсистемы из состояния S₀ в состояние S₄ сразу невозможен. Нельзя также возврат из состояний S₃ и S₂.

Дифференциальные уравнения Колмогорова имеют вид:

$$\frac{dP_0}{dt} = -(\lambda_{03} - \lambda_{01})P_0 \dots (8)$$

$$\frac{dP_3}{dt} = \lambda_{13}P_1 + \lambda_{03}P_0 \dots (9)$$

$$\frac{dP_1}{dt} = \lambda_{01}P_0 - (\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1 \dots (10)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 \dots (11)$$

Следует учитывать, что в пределах одного отрезка времени

вероятность более чем одного перехода равна нулю и

$$P_{03} + P_{01} + P_{00} = P_{13} + P_{12} + P_{11} = P_{33} = P_{22} = 1 \dots (12)$$

$$P_{02} = P_{30} = P_{31} = P_{32} = P_{20} = P_{23} = P_{21} = 0 \dots (13)$$

После решения системы дифференциальных уравнений с помощью превращения Лапласа [6] и с учетом указанных условий, при P₀(t = 0) = 1, получаем

$$\lambda(t) = \frac{(\lambda_{03} + \lambda_{01})(\lambda_{03} - \lambda_{13} - \lambda_{12})e^{-(\lambda_{03} + \lambda_{01})t} + (\lambda_{03} - \lambda_{13} - \lambda_{12})e^{-(\lambda_{03} + \lambda_{01})t} + \lambda_{01}(\lambda_{13} + \lambda_{12})e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{12})t}}{\lambda_{01}e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{01})t}} \dots (14)$$

Полученной формулой хорошо аппроксимируется т.н. «Ванная кривая» интенсивности отказов сельхозмашин при их приработке, нормальной работе и аварийном состоянии.

После дифференцирования λ(t) получается равенство, которое зависит от знака

$$\lambda_{03} - \lambda_{13} - \lambda_{12} \text{ Если } \lambda_{03} > \lambda_{13} + \lambda_{12}, \text{ то}$$

интенсивность отказов монотонно убывает во времени (начальный период эксплуатации сельхозмашин), при установившемся

$$\text{периоде } \lambda_{03} = \lambda_{13} + \lambda_{12},$$

$$\text{при аварийном } \lambda_{03} < \lambda_{13} + \lambda_{12}$$

Кроме этого, зная величины λ₀₃ и λ₀₁, можно

наметить оптимальные мероприятия по обеспечению и повышению надежности машин. В частности

если λ₀₃ >> λ₀₁, то необходимо больше внимания уделить повышению надежности подсистем с грубыми дефектами (повысить прочностные свойства), если λ₀₃ << λ₀₁, то необходимо уменьшить скорость деградации подсистем.

Нами рекомендованы технологические методы для повышения надежности сельхозтехники. Из них необходимо отметить способ электрорискрового легирования (ЭИЛ).

Нами разработано специальное устройство для ЭИЛ изношенных деталей машин (Рис.5.)



Рис.5. Устройство для электрорискрового легирования.

Устройство состоит из панели, электродов, вибратора и блока электропитания. Использование разработанной нами оптимальной технологии восстановления и упрочнения деталей машин позволяет увеличить их ресурс в 1,5 – 2 раза [8].

По указанной выше методике были рассчитаны показатели эксплуатационной надежности зарубежной сельхозтехники, работающей в специфичных условиях Грузии.

Результаты исследования для трактора NEW HOLLAND представлены на рис.6

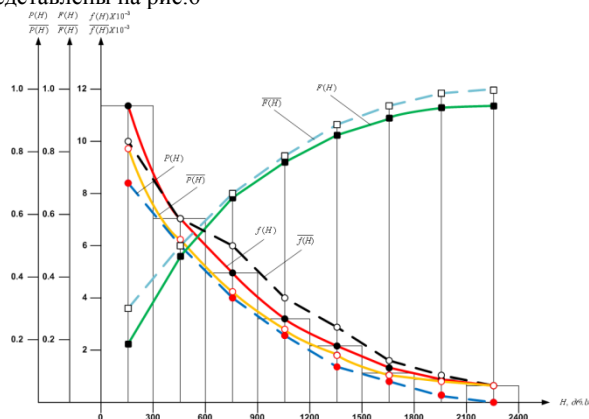


Рис.6. Графики показателей эксплуатационной надежности трактора NEW HOLLAND

P(H) - вероятность безотказной работы

F(H) - интегральная функция распределения отказов.

f(H) - дифференциальная

функция распределения.

Анализ теоретических и экспериментальных

исследований показал, что по показателям надежности сельхозтехника, изготовленная в западных развитых странах значительно превышает аналогичным машинам, производимых в бывшем Советском Союзе.

Так, например, ВБР трактора NEW HOLLAND при $H = 2400$ мото. час $P_1(H) = 0.3$, а для трактора ДТ-75 $P_2(H) = 0.15$. Нарботка на отказ соответственно составляет $H_1 = 800$ мот. час и $H_2 = 280$ мот. час..

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы :

1. Представлена методика для расчета единичных и комплексных показателей надежности сельскохозяйственной техники с помощью структурно-логических схем .
2. Разработаны теоретические основы расчета надежности с/х машин с применением Марковских процессов, составлены графы перехода машин в различные состояния и соответствующие дифференциальные уравнения Колмогорова.
3. Проведены теоретические и экспериментальные исследования по которым определены количественные значения показателей надежности зарубежной с/х техники, работающих в особенных почвенно-климатических условиях Грузии и разработаны технологические способы по повышению их ресурса .

Литература

1. Кацитадзе Дж.В. , Сарджвеладзе Н.Н. Технический сервис машин. Тбилиси, 2008, 287 с.
2. Industrial product dependability. Terms and definitions. М. 1987, 32 с.
3. Кацитадзе Дж.В. Надежность и ремонт машин, Тбилиси, 1999, 189 с.
4. Проников А.С. Надежность машин. М. 1998, 520 с.
5. Гнеденко Б.В. и др. Математические методы в теории надежности. М. 1995, 524 с.
6. Кацитадзе Дж.В. – Некоторые вопросы расчета сельхозмашин на надежность. Труды ГАУ, том. 70, Тбилиси, с. 270-276.
7. Cox D. Renewal theory, London, 1999, 299 с.
8. Katsitadze D. Process of optimization regeneration the worn out detalis agricultural Technicians elektrosparking elloy, Trans&MOTAUTO'11, Varna, 2011, S.54..57.