

УДК 631.354+004

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*К.В. Шленкин, кандидат технических наук, доцент,  
8 9278070325, k-shlenkin@yandex.ru  
ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»*

*В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор,  
89063946046, vik@ugsha.ru*

*А.А. Павлушин, доктор технических наук, доцент,  
89050359200, andrejpravlu@yandex.ru*

*А.К. Шленкин, студент инженерного факультета,  
89969532881, shlenkin15@yandex.ru  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

**Ключевые слова:** Моментные наблюдения, надежность, оперативное управление, эксплуатация, ремонт, межремонтный период, работоспособное состояние, вероятность, поток отказов, периодичность обследований, моменты времени.

*Работа посвящена определению основных показателей прогнозирования и повышения надежности зерноуборочного комбайна в условиях реальной эксплуатации методом моментных наблюдений. Указанный метод позволяет вычислить фактические оценки наработки на отказ, параметры потока отказов и среднего числа отказов. Коэффициент готовности и технического использования устанавливается с учетом потерь времени при ликвидации отказов по организационным причинам.*

**Введение.** Постоянные или периодические наблюдения, применяемые в настоящее время для сбора информации о надежности техники, имеют существенный недостаток – неоперативность. В то же время задачи оперативного управления (подготовка машин к напряженным сельскохозяйственным кампаниям (сев, уборка, и т.п.), аттестация продукции, оценка эффективности технического обслуживания и ремонта и т.д. требуют разработки экспресс-методов оценки показателей надежности [1].

Так как речь идет об оценке надежности отремонтированной техники, следует учесть, что машина, прежде чем попасть на капитальный

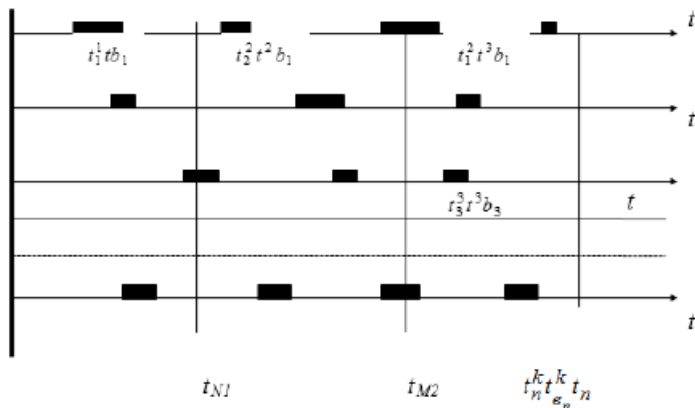


Рисунок 1 - Схема применения моментных обследований

ремонт, значительное время эксплуатируется, и о ней накапливается разнообразная информация (например, среднее время восстановления и средняя наработка на отказ в доремонтном периоде и др.).

Исходя из предположения о равенстве среднего времени восстановления в доремонтном периоде соответствующему показателю в межремонтном, был предложен метод оперативной оценки отношения коэффициента готовности в межремонтном периоде к величине его в доремонтном периоде, основанный на определении числа исправных и неисправных машин в некоторые моменты времени. Наблюдения за работой оборудования и фиксированные моменты времени получили название моментных наблюдений (рисунок 1) [1, 2]. Достоинством этого метода является оперативность.

Пусть имеется  $N$  изделий, которые эксплуатируются до некоторой наработки  $t_n$  (рисунок 1). В процессе эксплуатации они отказывают в некоторые моменты времени  $t_i^j$  и восстанавливаются в моменты  $t_{bi}^j$ , где  $j$  – номер отказа,  $i$  – номер изделия. В определенные моменты времени  $t_M$  фиксируются состояния машин, которые могут быть при этом работоспособными или отказавшими. При достаточно большом  $N$  (рисунок 1) следует вероятность зафиксировать машину в работоспособном состоянии пропорционально времени нахождения в этом состоянии:

$$P = \frac{n_1}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_i^j}{N \cdot t}, \quad (1)$$

где  $n_1$  – число машин, находящихся в работоспособном состоянии;  $m$  – число отказов  $i$ -й машины.

Соответственно вероятность нахождения машин в отказавшем состоянии:

$$Q(t) = 1 - P(t) = \frac{n_2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_b^j}{n \cdot t}, \quad (2)$$

где  $n_2$  – число машин, находящихся в неработоспособном состоянии.

Указанное положение можно распространить на произвольное число состояний:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_i^j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_b^j}, \quad (3)$$

которое после преобразований дает

$$t_{cp} = \frac{n_1}{n_2} t_b, \quad n_2 \neq 0, \quad (4)$$

где  $n_1, n_2$  – число машин в работоспособном и неработоспособном состояниях;  $t_{cp}$  – средняя наработка на отказ;  $t_b$  – среднее время восстановления.

Коэффициент готовности, обычно записываемой как:

$$K_{\Gamma} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_b}$$

после подстановки выражения (4) будет иметь вид:

$$K_{\Gamma} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}. \quad (5)$$

Соответственно, коэффициент технического использования

$$K'_{mul} = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4}, \quad (6)$$

где  $n_3, n_4$  – число машин, находящихся на плавном обслуживании и ремонте.

На основании известного выражения для параметра потока отказов  $w(t) = 1/t_{cp}$  получим:

$$\omega(t) = \frac{n_2}{n_1 t_b}. \quad (7)$$

Среднее число отказов за время  $t$  для стационарного потока отказов получается путем умножения  $w(t)$  на время  $t$ .

$$m_{cp}(t) = \frac{n_2 t}{n_1 \cdot t_b}. \quad (8)$$

Аналогично соотношения (4) находится средний ресурс машины:

$$T_{cp} = \frac{n_1}{n_5} t_p, \quad (9)$$

где  $t_p$  – среднее время нахождения машины в капитальном ремонте;  $n_5$  – число машин, находящихся в капитальном ремонте.

Среднее время наблюдения машины в отказавшем состоянии равно половине среднего времени его восстановления. Отсюда справедливо  $t_b = 2t_b^H$ , т.е. среднее время восстановления равно удвоенному времени от начала возникновения отказа изделия до момента фиксации его в отказавшем состоянии:

$$t_b = \frac{2 \sum_{i=1}^{n_2} t_{b_i}^H}{n_2}, \quad (10)$$

где  $t_{b_i}^H$  – время от начала возникновения  $i$ -го отказа до его фиксации.

Указанный метод позволяет вычислить фактические оценки наработки на отказ, параметры потока отказов и среднего числа отказов по формулам (4), (7), (8). Коэффициент готовности и технического использования устанавливается с учетом потерь времени при ликвидации отказов по организационным причинам [3]. Определение этих коэффициентов следует проводить путем использования нормативного времени устранения последствий.

Коэффициент готовности изделия без учета потерь времени по организационным причинам

$$K_{Г} = \frac{n_1 + \Delta n}{n_1 + n_2}, \quad \Delta n = n_1 \frac{t_b - t_{бн}}{t_{сп}} \quad (11)$$

где  $t_{бн}$  – нормативное среднее время устранения отказа, получаемое при оценке ремонтпригодности изделия на государственных испытаниях.

Необходимое число моментных наблюдений, т.е. фиксации машины в исправном или неисправном состоянии, находятся на основе формулы предельной ошибки для части (доли) выборки [4]:

$$\varepsilon = t_{\beta} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}, \quad (12)$$

где  $\varepsilon$  – точность определения оценки;  $t_{\beta}$  – аргумент дифференциальной функции распределения Стьюдента;  $P$  – частность (доля) признака;  $n$  – число моментно-записей.

Выражение (12) справедливо при единократном обследовании. В том случае, когда необходимое число моментно-записей больше числа машин, т.е.  $n > N$ , следует проводить несколько обследований указанной совокупности машин. Тогда ошибка для доли выборки запишется как:

$$\varepsilon = t_{\beta} \sqrt{\frac{P(1-p)}{lN}}, \quad (13)$$

где  $l$  – число повторных обследований машин.

Данная формула справедлива при периодичности больше, чем максимальное время устранения отказа  $t_{b \max}$ . В противном случае будет повторно фиксироваться часть отказов, время устранения которых больше периодичности обследований  $t_b > \tau$ . Величина ее определяется по формуле:

$$F(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} \psi(t) \cdot dt, \quad (14)$$

где  $\psi(t)$  – плотность распределения времени восстановления.

Тогда число повторно регистрируемых отказов

$$m_n = N \int_{\tau}^{\infty} \psi(t) \cdot dt. \quad (15)$$

Отсюда

$$\varepsilon = t_{\beta} \sqrt{\frac{P(1-p)}{lN(1-F(\tau))}} \quad (16)$$

Выражение (16) позволяет установить необходимую периодичность обследований. Если время, отведенное на оценку надежности  $t_0 > t_{b \max}$ , то периодичность выбирается равной  $t_{b \max}$ , а число моментонаблюдений вычисляется по формуле (13).

В противоположном случае периодичность обследований находится путем преобразования формулы (16) с учетом, что время восста-

новления распределено по экспоненциальному закону, а  $\tau = \frac{t_0}{l}$ . Тогда будем иметь:

$$\tau = \frac{Nt_0 \cdot \varepsilon^2 \cdot l^{-\lambda\tau}}{t_{\beta}^2 \cdot P(1-p)} \quad (17)$$

Окончательный доверительный интервал для  $t$

$$|t_{cp} - t_{cp0}| \leq t_{\beta} \sqrt{\frac{(n-n_2) \cdot t_{b0}^2 \cdot n}{n_2^3} + \frac{(n-n_2)G^2}{n_2^2}} \quad (18)$$

с доверительной вероятностью  $1 - \beta$  такой, что

$$1 - \beta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t_{\beta}}^{t_{\beta}} e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du \quad (19)$$

Коэффициент готовности, рассчитанный по формуле:

$$K_z = \frac{n_1}{(n_1 + n_2)} = \frac{n_1}{n} = P \quad (20)$$

есть вероятность нахождения машин в исправном состоянии.

Информацию об отказах зерноуборочных комбайнов в целях оценки точности предлагаемого метода можно также получить с помощью хронометражных наблюдений, с использованием диспетчерской связи. Формы сбора информации необходимо выбрать в соответствии с ОСТ 70.28-81 [5].

Предлагаемая методика оценки надежности с помощью моментных наблюдений обеспечивает оперативное определение этих оценок при снижении трудоемкости и стоимости в 6...7 раз по сравнению с периодическими обследованиями.

## Библиографический список

1. Лезин П.П. Формирование надежности сельскохозяйственной техники при ее ремонте. (Под редакцией Ю.А. Вантюсова). - Саратов.: Издательство Саратовского университета, 1987. – 195 с.
2. Шленкин К.В. Вопросы надежности техники при дилерской системе технического сервиса в АПК. Сборник научных трудов. Организация системы технического сервиса машин в АПК. Ульяновск. ГСХА. - 1997. - С.71...74.
3. Шленкин К.В. Теоретические основы определения ресурса основных звеньев комбайна «ДОН-1500» методом слабейшего звена. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: Сб.науч. тр. МГУ им. Н.П. Огарева; Редкол.: П.В.Сенин, и др. – Изд-во Мордов ун-та, 2009. - С. 97...99.
4. Шленкин К.В., Павлушин А.А., Шленкин А.К. О надежности зерноуборочных комбайнов «ДОН-1500» Материалы VI Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе: опыт, проблемы и пути их решения». – Часть 1. Технологии и средства механизации производства и переработки продукции сельского хозяйства» / Ульяновск, ГСХА им. П.А. Столыпина, 2016 г. С 122...127.
5. Шленкин К.В., Павлушин А.А. Особенности системы технического обслуживания и ремонта зерноуборочных комбайнов в современных условиях. Материалы V Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути решения» / Ульяновск; ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013, т. II. – С. 278...282.

## THEORETICAL BASES OF FORECASTING AND RELIABILITY OF COMBINE HARVESTER IN REAL WORLD CONDITIONS

*Shlenkin K.V., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Shlenkin A.K.*

**Key words:** *Torque monitoring, reliability, operational management, maintenance, repair, overhaul period, the healthy state probability, the flow of failures, frequency of surveys, and points in time.*

*The work is devoted to the definition of the main indicators of forecasting and improving the reliability of combine harvester in real operation by the method of moment observations. This method allows to compute the actual estimation of the MTBF, the parameters of the flow of failures and the average number of failures. The availability and technical utilization factor is set taking into account the loss of time in the elimination of failures for organizational reasons.*