

4. Кузнецова, А. Р. Производительность труда и трудовые ресурсы в строительстве Республики Башкортостан / А. Р. Кузнецова, А. Н. Дегтярев // Уфимский гуманитарный научный форум. – 2024. – № 1(17). – С. 106–122. – DOI 10.47309/2713-2358-2024-1-106-122. – EDN RUQGOO.

5. Сельское хозяйство Республики Башкортостан: статистический сборник – Уфа: Башкортостанстат, 2023 г. – 172 с.

6. Труд и занятость в Республике Башкортостан: Статистический сборник/ Башкортостанстат – Уфа, 2023 – 126 с.

7. Akhmetyanova, A. Improving employee motivation system to work in the "Luch" Ltd. of Baltachevski district / A. Akhmetyanova, Z. R. Zagirova // Foreign Language In Professional Communication-9 : материалы IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов, Уфа, 22 апреля – 14 2019 года / Пешкова Н.П., ответственный редактор. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2019. – P. 382–383. – EDN RUDXZC.

8. Differentiation of the level of labour productivity and pay as the basis for changing the labor market / A. Makhmutov, G. Kolevid, A. Kostyaev [et al.] // The 13th international days of statistics and economics : Conference Proceedings, Prague, 05–07 сентября 2019 года. – Prague: Libuše Macáková, 2019. – P. 1022–1032. – DOI 10.18267/pr.2019.los.186.102. – EDN FFDBSF.

9. Саитова, Р. З. Проблемы воспроизводства трудовых ресурсов / Р. З. Саитова, А. И. Ахметьянова, Г. Р. Колевид // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 2. – С. 152–157. – EDN YSEXJN.

УДК 62-192(07)

**Круглый П.Е.**, кандидат технических наук, доцент;

**Василевский П.Н.**, старший преподаватель;

**Шукан М.М.**, аспирант;

**Круглый П.С.**, инженер

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОТОКОВ ВОССТАНОВЛЕНИЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА**

**Аннотация.** Приведена методика исследования потоков восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов при их техническом сервисе. Выполнен анализ потоков восстановлений кормоуборочных комбайнов.

**Abstract.** The method of studying the flows of restoring the operability of forage harvesters during their technical service is given. The analysis of the recovery flows of forage harvesters has been performed.

**Ключевые слова.** Работоспособность, поток восстановлений, согласованность теоретического и экспериментального распределений, критерии согласия.

**Keywords.** Efficiency, recovery flow, consistency of theoretical and experimental distributions, criteria of agreement.

Исследование ремонтпригодности и в частности изучение и анализ потоков восстановлений работоспособности кормоуборочных комбайнов при организации их технического сервиса имеет большое значение [1–4]. От приспособленности конструкции машины к работам, предусмотренным системой технического обслуживания и ремонта, зависит ущерб, возникающий из-за пребывания машины в неработоспособном состоянии в связи с проведением этих работ. Ремонтпригодность кормоуборочных комбайнов – важнейшее эксплуатационно-техническое свойство.

На основе экспериментальных данных выполнен статистический анализ ремонтпригодности кормоуборочных комбайнов, т.е. установлен характер распределения времени восстановления их работоспособности.

На основании статистической совокупности времени восстановления построены статистические вариационные ряды. Установленные значения продолжительности времени восстановления комбайнов находились в пределах 0,07...8,00 ч [5–7].

При построении ряда потока времени восстановления работоспособности число интервалов определяется по формуле [5–7]

$$k_{\max} \approx 1 + 3,3 \ln W, \quad (1)$$

где  $W$  – общее число отказов, зарегистрированных при экспериментальных исследованиях.

Количество интервалов, полученных из зависимости (1), может быть уменьшено до 7 или увеличено до 17.

Продолжительность интервала определяется из соотношения

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{k_{\max}}, \quad (2)$$

где  $t_{\max}$ ,  $t_{\min}$  – максимальное и минимальное значения времени восстановления из полученной статистической совокупности.

Исходя из вида гистограмм и теоретического анализа выдвигается гипотеза о приемлемости для описания времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов экспоненциального закона. Указанный закон является однопараметрическим, зависящим от параметра  $\mu$ . Параметр  $\mu$  для эмпирического распределения в нашем случае есть не что иное, как величина обратная среднему времени восстановления  $t_{cp}$ .

По статистическим данным значение  $t_{cp}$  определяется из зависимости

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{k_{max}} t_i W_i}{\sum_{i=1}^{k_{max}} W_i}, \quad (3)$$

где  $t_i$  – середина  $i$ -го интервала вариационного статистического ряда;  $W_i$  – количество отказов зафиксированных в  $i$ -ом интервале.

Среднее время восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов, рассчитанное по формуле (3), составило: для всех групп сложности 1,35 ч, для первой группы сложности 0,24 ч и для второй и третьей групп сложности 2,26 ч.

Статистическую проверку согласованности эмпирического распределения теоретическому чаще проводят с помощью критериев К. Пирсона (кси-квадрат) и А.Н. Колмогорова.

Принцип использования критериев согласия состоит в следующем. На основании экспериментальных данных необходимо проверить статистическую гипотезу  $H_0$ , заключающуюся в том, что случайная величина  $X$  подчиняется выбранному теоретическому закону распределения.

С целью принятия или опровержения гипотезы  $H_0$  рассматривают величину  $U$ , которая характеризует степень расхождения статистического и эмпирического распределений. Эта величина может быть определена различными способами. Выбранная тем или иным способом величина  $U$  есть величина случайная, закон распределения которой зависит от распределения величины  $X$ .

В случае если гипотеза  $H_0$  верна, то закон распределения величины  $X$  определяется законом распределения величины  $U$  и числом опытов. Допустим, что выбранная мера расхождения  $U$  приняла некоторое значение  $u$ . В предположении, что гипотеза  $H_0$  верна, определим вероятность события  $U \geq u$ , то есть вероятность того, что за счет случайных причин, обусловленных ограниченным объемом экспериментального материала, мера расхождения  $U$  будет не меньше опытного значения  $u$ .

Если эта вероятность мала, то статистическая гипотеза  $H_0$  отвергается. В противном случае нужно признать, что опытные данные не противоречат принятой гипотезе  $H_0$ .

Таким образом, возникает вопрос о способе выбора меры расхождения  $U$ . При некоторых способах выбора закон ее распределения не зависит от закона распределения случайной величины  $X$ . Например, при определении степени согласованности теоретического и экспериментального распределений по критерию Пирсона за меру расхождения принимается сумма квадратов отклонений, взятых с некоторыми коэффициентами  $\xi_k$  теоретических вероятностей  $P_k$  от соответствующих частот  $\omega_k$

$$U = \sum_{k=0}^{k_{max}} \xi_k (\omega_k - P_k)^2. \quad (4)$$

Если принять

$$\xi_k = \frac{T}{P_k}, \quad (5)$$

то закон распределения случайной величины  $U$  не зависит от закона распределения величины  $X$ , а зависит от числа интервалов  $k_{max}$  и приближается к распределению хи-квадрат с плотностью

$$f(\chi^2; l) = \frac{1}{2^{l/2} \Gamma(\frac{l}{2})} (\chi^2)^{\frac{l}{2}-1} e^{-\frac{\chi^2}{2}}; \quad 0 \leq \chi^2 \leq \infty, \quad (6)$$

где  $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$  – гамма-функция.

Таким образом, при вышеуказанном способе выбора коэффициентов  $\xi_k$  мера расхождения (обычно обозначаемая  $\chi^2$ ) примет вид

$$\chi^2 = \Gamma \sum_{k=0}^{k_{max}} \frac{(\omega_k - P_k)^2}{P_k}. \quad (7)$$

Тогда, вводя  $T$  (для уборочно-транспортного комплекса  $T$  – период уборки в сутках) под знак суммы и, учитывая, что  $\omega_k = T_k / T$ , имеем

$$\chi^2 = \sum_{k=0}^{k_{max}} \frac{(T_k - TP_k)^2}{TP_k}, \quad (8)$$

где  $T_k$  – статистическая частота поступления требований на обслуживание машин (число суток, в которое поступило  $k$  требований);  $TP_k$  – теоретическая частота поступления требований на обслуживание.

Распределение хи-квадрат зависит от параметра  $l$ , названного числом степеней свободы и определяемого по формуле

$$l = k_{max} - q - 1, \quad (9)$$

где  $q+1$  – число связей, наложенных на частоты  $\omega_k$  ( $q$  – количество параметров проверяемого теоретического закона, определенных с помощью экспериментальных данных).

Распределение хи-квадрат дает возможность оценить степень согласованности теоретического и статистического законов распределений. Если вероятность  $p$  (вероятность того, что за счет случайных причин, обусловленных ограниченным статистическим материалом, мера расхождения эмпирического и теоретического распределений (зависимость 8) будет не меньше, чем фактически полученное при эксперименте  $\chi^2_{эм.ч.}$ ) относительно велика, что можно констатировать, что гипотеза  $H_0$  не противоречит опытным данным. Если же вероятность  $p$  настолько мала, что

событие с такой вероятностью считается практически невозможным, то гипотеза  $H_0$  отбрасывается.

Нужно отметить, что критерий Пирсона является наиболее состоятельным при большом числе наблюдений. Этот критерий обеспечивает минимальную ошибку по сравнению с другими. Его можно использовать как для непрерывных, так и для дискретных случайных величин. Он применим и в случае определения параметров теоретического распределения по опытным данным, что учитывается коррекцией  $q$  (зависимость (3.9)). Критерий Пирсона является наиболее исчерпывающим при проверке характера функции параметра потока отказов. Заметим, что прежде чем проводить вычисления по критерию хи-квадрат, необходимо объединить частоты, встречаемость которых менее 5. При определении числа степеней свободы объединенные частоты на концах принимают за одну.

Таким образом, применение критерия Пирсона сводится к следующей схеме:

- 1) определяется мера расхождения  $\chi^2_{\text{выч.}}$  (зависимость (7));
- 2) подсчитывается число степеней свободы (формула (8));
- 3) по  $\chi^2_{\text{выч.}}$  и  $l$  определяется вероятность  $p$  (вероятность того, что величина, имеющая распределение  $\chi^2$  с  $l$  степенями свободы, окажется не меньше значения  $\chi^2_{\text{выч.}}$ ). Если  $p(\chi^2 \geq \chi^2_{\text{выч.}}) \geq 0,05$ , то выдвинутая гипотеза не противоречит экспериментальным данным.

Критерий Колмогорова проще критерия хи-квадрат, но его можно применять только для непрерывных случайных величин и при условии, что параметры проверяемого теоретического распределения заранее известны. Применение же этого критерия в случаях, когда параметры теоретического закона определяются по статистическим данным, приводит к риску принятия гипотезы, плохо согласующейся с экспериментальным материалом.

В нашем случае согласованность статистического распределения с теоретическим проверялась по критерию Пирсона, аналогично, как и при установлении согласованности потоков отказов [4], с той лишь разницей, что теоретическая вероятность  $i$ -го интервала определялась по формуле

$$P_j = \frac{\Delta t}{t_{\text{cp}}} e^{-t_i/t_{\text{cp}}}, \quad (10)$$

Вероятности согласия  $p$  изменяются в пределах 0,10...0,80, что выше нижнего доверительного уровня, принятого равным 0,05.

Отсюда следует, что выдвинутая гипотеза о распределении времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов по экспоненциальному закону не противоречит полученному экспериментальному материалу.

Построение 90% доверительных границ для функции распределения времени восстановления также подтвердило сделанный выше вывод. При

построении доверительных границ доверительный интервал для  $t_{cp}$  определялся зависимостями:

$$t_{cp}^b = t_{cp} \times r_1; \quad t_{cp}^H = t_{cp} \times r_3, \quad (11)$$

где  $r_1$  и  $r_3$  – коэффициенты, определяемые по таблицам [7].

Показатели потоков восстановлений работоспособности комбайнов кормоуборочного комплекса приведены в таблице. Как видно из таблицы, параметр потока восстановлений комбайнов кормоуборочного комплекса составил: для отказов всех групп сложности 0,741 1/ч; для отказов первой группы сложности 4,219 1/ч; для отказов второй и третьей групп сложности 0,443 1/ч.

Таблица – Показатели потоков восстановлений работоспособности комбайнов кормоуборочного комплекса

Группа сложности отказов	Среднее время восстановления, ч	Параметр потока восстановлений, 1/ч
Первая-третья	1,35	0,741
Первая	0,24	4,219
Вторая, третья	2,26	0,443

Таким образом, результаты обработки статистической информации и проведенный анализ дает возможным считать приемлемым для описания распределения времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов экспоненциальный закон. Определены показатели потоков восстановлений работоспособности кормоуборочных комбайнов. Установлен параметр потоков восстановлений, который составил: для кормоуборочных комбайнов 0,741 1/ч. Полученные показатели потоков восстановлений работоспособности кормоуборочных комбайнов могут быть использованы для обоснования состава ремонтной службы и ее производительности.

#### **Список использованной литературы**

1. Тарасенко В.Е., Миклуш В.П., Жешко А.А. Надежность технических систем. – Минск: БГАТУ, 2015. – 204 с.
2. Анискович Г.И., Круглый П.Е., Кашко В.М. Надежность и ремонт сельскохозяйственной техники. – Минск: БГАТУ, 2010. – 44 с.
3. Круглый П.Е., Кашко В.М., Мисун А.Л. и др. Исследование и анализ ремонтпригодности кормоуборочных комбайнов при организации их технического сервиса. В сб. Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. научно-практ. конф., Минск, 24–25 октября 2019 г. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 111–113.
4. Ивашко В.С., Круглый П.Е., Кашко В.М. и др. Исследование и анализ потоков требований на обслуживание технических систем. – Изобретатель № 9 (213), 2017. – С. 33–37.
5. Юдин М.И. Техника применения математического аппарата теории вероятностей в надежности машин / М.И. Юдин, И.В. Карасев, Р.А. Титов и др. – Краснодар : Кубанский ГАУ, 2006. – 255 с.

6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Задачи и упражнения по теории вероятностей. – М. : Высш. шк., 2002. – 448 с.
7. Кобзарь А.И. Прикладная математика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

**Summary.** The method of studying the flows of restoring the operability of forage harvesters during their technical service is given. The analysis of the recovery flows of forage harvesters has been performed.

УДК 621.432, 631.372

**Тарасенко В.Е.**, кандидат технических наук, доцент  
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Аннотация.** Представлены результаты анализа методов функционального диагностирования автотракторных двигателей, описаны современные приемы контроля износа трущихся деталей в режиме реального времени и виброакустические методы, позволяющие в совокупности обеспечить индивидуализацию оценки состояния двигателя в течение срока эксплуатации. Приведены характерные фазы проявления дефектов для 4-х тактного двигателя, а также спектральные области проявления дефектов.

**Abstract.** The results of an analysis of methods for functional diagnostics of automobile and tractor engines are presented, modern techniques for monitoring the wear of rubbing parts in real time and vibroacoustic methods are described, which together make it possible to individualize the assessment of the condition of the engine during its service life. The characteristic phases of the manifestation of defects for a 4-stroke engine are given, as well as the spectral regions of the manifestation of defects.

**Ключевые слова.** Диагностирование, двигатель, метод, износ, датчик, сигнал, вибрация, спектр.

**Keywords.** Diagnosis, engine, method, wear, sensor, signal, vibration, spectrum.

В мировой практике создания и эксплуатации машин актуальными остаются проблемы обеспечения надежности их работы, безразборного контроля и прогнозирования технического состояния. Увеличение ресурса и повышение надежности машин и механизмов предполагают переход на эксплуатацию технических объектов по фактическому состоянию, а это возможно только при наличии эффективных методов и средств диагностирования [1].