


ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.083

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-5-67-72

СПОСОБ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**КАТАЕВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ** , канд. техн. наук, доцентykataev@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>**СОЛОМАШКИН АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**, ведущий специалистlittor2013@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0781-4715>**ГЕРАСИМОВ ВАЛЕРИЙ СЕРГЕЕВИЧ**, ведущий специалистrosagroserve@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4540-7408>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

Аннотация. Повышение работоспособности машин в пределах срока их использования вызывает необходимость модернизации стратегий технического обслуживания и ремонта. С целью разработки способа организации технического обслуживания и ремонта деталей машин для повышения безотказности сельскохозяйственной техники проведен анализ U-образного вида кривой интенсивности отказов. Рассмотрено постгарантийное обслуживание двух типов. Показано, что отказы деталей машин при эксплуатации бывают двух видов: отказы завода-изготовителя (обусловленные качеством проектирования, изготовления и монтажа и характеризующиеся интенсивностью отказов), эксплуатационные отказы (обусловленные качеством обслуживания деталей машин и характеризующиеся законом распределения отказов, описываемых распределением Вейбулла, стандартным нормальным законом распределения Гаусса или другими законами распределения случайных величин). В результате исследований показаны характеристики периодов жизни объектов контроля. Обоснованы и определены закон распределения ресурса и активный участок контроля. Представлены способы их вычисления и использования при техническом обслуживании и ремонте деталей машин. Предлагаемый способ технического обслуживания и ремонта, основанный на предупреждении отказов деталей машин путем применения постгарантийного обслуживания, позволит повысить безотказность работы диагностируемой машины.



Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, ремонт машин, техническое обслуживание, предупреждение отказов, постгарантийное обслуживание

Формат цитирования: Катаев Ю.В., Соломашкин А.А., Герасимов В.С. Способ организации технического обслуживания и ремонта деталей сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 67-72. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-67-72>.

© Катаев Ю.В., Соломашкин А.А., Герасимов В.С., 2022



ORIGINAL PAPER

METHOD OF ORGANIZING MAINTENANCE AND REPAIR OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS**YURIY V. KATAEV** , PhD (Eng), Associate Professorykataev@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>**ALEKSEI A. SOLOMASHKIN**, Lead Specialistlittor2013@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0781-4715>**VALERIYS. GERASIMOV**, Lead Specialistrosagroserve@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4540-7408>Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy Proezd Str., 5

Abstract. Increasing the performance of machines within their useful life necessitates modernizing maintenance and repair strategies. To develop a method for organizing maintenance and repair of machine parts aimed at improving the reliability of agricultural machinery, the authors carried out an analysis of the U-shaped form of the failure rate curve. Two types of post-warranty service were considered. The study showed that the failures of machine parts observed while operating are of two types: failures of the manufacturer (determined by the quality of design, manufacture and installation, and characterized by the failure rate) and operational failures (determined by the service quality of machine parts and characterized by the distribution law of failures described by the Weibull distribution, the standard normal Gaussian distribution law or other distribution laws of random variables). The research yielded the characteristics of the life periods of the control objects. The authors determined and justified the law of resource distribution and the active area of control, and presented

methods for their analysis and use in the maintenance and repair of machine parts. The proposed method of maintenance and repair, based on preventing the failures of machine parts through the use of post-warranty service, will improve the reliability of diagnosed machines.

Keywords: agricultural machinery, machine repair, maintenance, failure prevention, post-warranty service

For citation: Kataev Yu.V., Solomashkin A.A., Gerasimov V.S. Method of organizing maintenance and repair of agricultural machinery parts. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(5): 67-72. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-67-72>.

Введение. Техническое обслуживание и ремонт машин включают в себя гарантийный и постгарантийный периоды обслуживания. Они хорошо прослеживаются при планово-предупредительной стратегии, основанной на контроле наработки

детали и последующем её ремонте через определенную наработку, и стратегии ТОР по состоянию, учитывающей выбраковку деталей с учетом наработки и нескольких нормативных параметров, с постоянным и/или переменным допуском [1] (рис. 1).

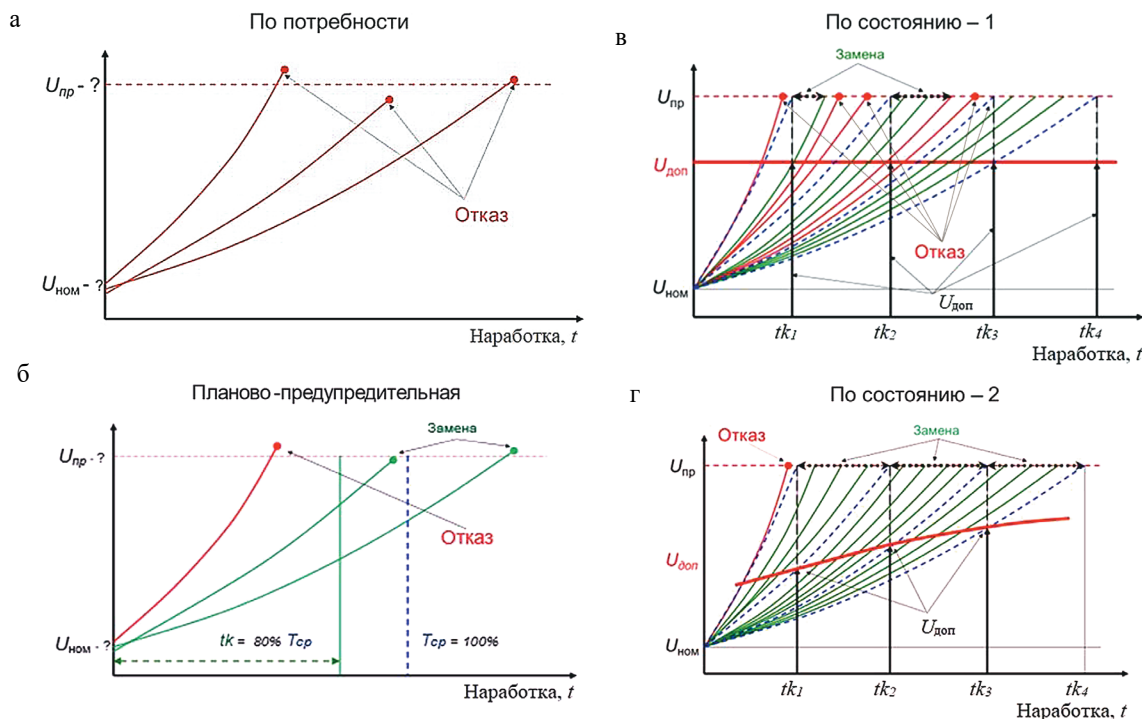


Рис. 1. Существующие стратегии технического обслуживания и ремонта машин:

- а – ремонт после отказа, без нормативных параметров ($U_{ном}$ и $U_{пр}$), наработки tk и системы допусков;
- б – ремонт после определенной наработки tk (учет только наработки $t = T_{ав}$);
- в – выбраковка детали с учетом наработки tk , нескольких нормативных параметров и постоянного допуска ($U_{доп} = const$);
- г – выбраковка детали с учетом наработки tk , нескольких нормативных параметров и переменного допуска ($U_{доп} = var$)

Fig. 1. Existing strategies for maintenance and repair of machines:

- a – repair after failure, without standard parameters ($U_{ном}$ and $U_{пр}$), operating time tk and tolerance system;
- b – repair after a certain operating time tk (accounting for only the operating time $t = T_{ав}$);
- c – rejection of the part, taking into account the operating time tk , several standard parameters and a constant tolerance ($U_{доп} = const$);
- d – rejection of the part, taking into account the operating time tk , several standard parameters and variable tolerance ($U_{доп} = var$)

Парк сельскохозяйственной техники на сегодняшний день морально устарел и требует серьезного обновления и модернизации. Кроме того, объемы по ТОР сократились и требуют дальнейшего развития по новой экономической схеме. Поэтому требуется увеличение эффективности ТОР для повышения работоспособности машин в пределах срока их использования.

Известно, что гарантийный срок для тракторов и комбайнов, включая импортную технику, составляет 1-2 года, то есть примерно 5...10% от срока её службы. При этом оставшиеся 90...95% срока эксплуатации потребитель вынужден обслуживать технику сам или просить оказывать ему платные услуги сторонних организаций. Это приводит к большим затратам, что снижает эффективность ТОР. Поэтому модернизация стратегий ТОР является актуальной задачей и требует дальнейшего исследования.

Цель исследований: разработка способа организации технического обслуживания и ремонта деталей машин для повышения безотказности сельскохозяйственной техники за счёт использования постгарантийного обслуживания ПГО 1 или ПГО 2.

Материалы и методы. Проведен анализ кривой интенсивности отказов, осуществлено разделение их на отказы: по вине завода-изготовителя и эксплуатационные отказы. По разработке способа технического обслуживания и ремонта машин показан анализ U -образного вида кривой интенсивности отказов, а также представлено построение графиков постгарантийного обслуживания ПГО 1 и ПГО 2, графика активного участка контроля (АУК).

При анализе существующих стратегий ТОР сельскохозяйственной техники использовались материалы дилерских служб

ведущих мировых производителей техники, онлайн-платформы, нормативно-правовые документы, регламентирующие проведение технического обслуживания и ремонта машин, а также научные труды в этой области исследований.

В зависимости от характера поставленных задач использовались монографический метод исследований, методы математического анализа с применением ПК, методы системного и статистического анализа с использованием пакетов Mathcad, Microsoft Office Excel-2019 и др.

Результаты и их обсуждение. В исследованиях¹ [2, 3] показан метод контроля сложных систем, который следит за измерением интенсивности отказов, описываемый U -образной кривой (рис. 2).

Период приработки объекта имеет повышенную интенсивность отказов, вызванную приработочными отказами, обусловленными дефектами производства, монтажа и наладки. Иногда этот период связывают с гарантийным обслуживанием объекта, когда устранение отказов производится изготовителем.



Рис. 2. U -образный вид кривой интенсивности отказов

Fig. 2. U -shaped view of the failure rate curve

В период нормальной эксплуатации интенсивность отказов практически остается постоянной. При этом отказы носят случайный характер и появляются внезапно, прежде всего по причине случайных изменений нагрузки, наблюдений условий эксплуатации, неблагоприятных внешних факторов и т.д. Именно этот период соответствует основному времени эксплуатации объекта. Возрастание интенсивности отказов относится к периоду старения объекта и вызвано увеличением числа отказов ввиду износа, старения и других причин, связанных с длительной эксплуатацией. Отметим, что четкие границы этих участков не указаны. Также нет пояснений того, что происходит на этих участках, контролируются ли на них ресурсные параметры, которые необходимы при диагностировании. Не всегда возрастание интенсивности отказов относится к периоду старения объекта, так как интенсивность отказов может наблюдаться не только в период старения объекта, но и при неблагоприятных условиях эксплуатации, и т.д. Эти вопросы детально изложены в работах ученых и специалистов ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [4-8], а также в ГОСТах^{2,3}.

Существуют три периода в жизни каждой детали, но пользоваться только этой информацией не всегда эффективно. Нужна

¹ Спирина М.А., Спиринов П.А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник. М.: Издательский центр Академия, 2007. 352 с.

² ГОСТ 25044-81. Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1982. 11 с.

³ ГОСТ 26655-85 Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Датчики. Общие технические требования. М.: Издательство стандартов, 1999. 9 с.

дополнительная информация об отказах и методах их устранения. Например, нужна полная информация о дополнительном воздействии на детали после устранения отказов по вине завода-изготовителя (после гарантийного обслуживания (ГО) заводом-изготовителем или в период приработки) – постгарантийном обслуживании (ПГО), то есть обслуживании (дополнительном, платном), предлагаемом дилерами завода изготовителя.

Предлагается рассмотреть два типа постгарантийного обслуживания: ПГО 1 и ПГО 2.

ПГО 1 – наиболее простой и дешевый способ постгарантийного обслуживания № 1, который может проводиться с диагностированием или без него. Диагностирование может быть любым, то есть заявочным, сезонным, после ремонта различных видов, ресурсным, через заданный промежуток времени, по известному графику проверки параметров или другим способом (рис. 3). Начинается этот период после окончания периода ГО заводом-изготовителем, а заканчивается после предполагаемого периода эксплуатационных отказов, при наработке tk . Этот срок устанавливается собственником машины с согласия дилеров, обслуживающих данную машину. Этот период условно называется «ПГО 1». Задача дилеров заключается в том, чтобы контролировать исправность деталей машины и в случае их отказов проводить замену деталями в основном заводе-изготовителе. Сроки диагностирования и замены деталей, а также достоверность диагноза и затраты являются приблизительными.

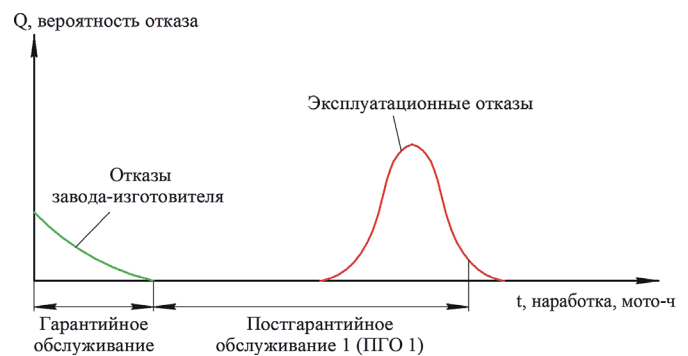


Рис. 3. Участок постгарантийного обслуживания ПГО 1

Fig. 3. Post-warranty service (PWS) section – PWS1

ПГО 2 – способ постгарантийного обслуживания № 2, проводимого после ГО заводом-изготовителем в строго определенное время, называемое активным участком контроля (АУК), или условно «ПГО 2». Между ГО и ПГО 2 есть период, когда эксплуатация деталей проходит без диагностирования. Тем самым период ПГО 1 отличается от периода ПГО 2 (ПГО 2 короче ПГО 1) (рис. 4).

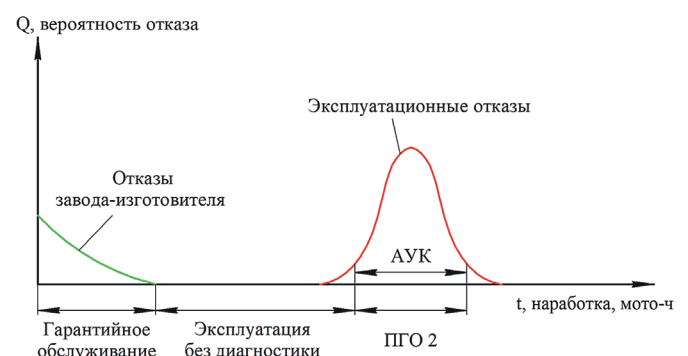


Рис. 4. Постгарантийное обслуживание ПГО 2

Fig. 4. Post-warranty service – PWS2

АУК характеризуется проведением ресурсного диагностирования деталей машин. АУК формируется для группы одноимённых деталей (ГОД) – таких, как шейки коленчатых и распределительных валов, плунжерные пары топливных насосов высокого давления (ТНВД) дизеля, шестерённых зацеплений КПП и подшипников, передних и задних мостов, редукторов и т.д. Прогнозирование отказов характеризуется с заданной вероятностью безотказной работы, с заранее просчитанными ошибками первого и второго рода, с заранее подготовленным диагностическим оборудованием и инструментом в специальном помещении, квалифицированными специалистами и т.д. Таким образом, постгарантийное обслуживание ПГО 2 является наиболее эффективным по сравнению с ПГО 1, но при этом оба способа обслуживания затратны.

Постгарантийное обслуживание включено в стандарты организации ФГБНУ ФНАЦ ВИМ^{4,5}.

Как известно, отказы деталей машин при эксплуатации бывают двух видов:

- отказы завода-изготовителя, когда скрытые дефекты в период приработки обусловлены качеством проектирования, изготовления и монтажа, характеризуются интенсивностью отказов и устраняются заводом-изготовителем в период гарантийного обслуживания;

- эксплуатационные отказы, обусловленные качеством обслуживания деталей машин, характеризующиеся законом распределения отказов, описываемых распределением Вейбулла, стандартным нормальным законом распределения Гаусса или другими законами распределения случайных величин (например, биномиальный, Пуассона, геометрический или гипергеометрический, показательный, равномерный и др.) [9-11]. Графически такой закон связан с эксплуатационными отказами и показывает часть наработки, приходящуюся на эти отказы⁶ (рис. 5).

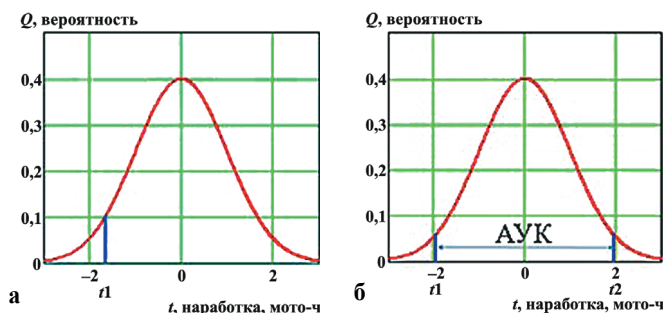


Рис. 5. График определения активного участка контроля (АУК)
Fig. 5. Graph of determining the active control area (ACA)

На примере стандартного нормального закона распределения случайной величины Гаусса рассчитаем вероятность безотказной работы топливного насоса высокого давления (ТНВД) в случае одностороннего и двустороннего теста.

⁴ СТО ВИМСТАНДАРТ 004-2018. Методика определения основных показателей надежности деталей сельскохозяйственных машин с различной скоростью изнашивания. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2018. 32 с.

⁵ СТО ВИМСТАНДАРТ 005-2018. Методика определения системы допусков для деталей сельскохозяйственных машин с учетом скорости их изнашивания. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2018. 29 с.

⁶ ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: ФГУП Стандартиформ ФНАЦ ВИМ, 2007. 23 с.

1. Выбор вида теста

Для одностороннего теста не учитывается вероятность отказов, приходящихся на «левый хвост» закона распределения ресурса, то есть на диапазон наработки значения от 0 до t_1 . Учитываются отказы в распределении Гаусса при наработке больше, чем t_1 .

Для двустороннего теста дополнительно не учитывается значение отказов, приходящихся на «правый хвост», то есть на диапазон наработки от t_2 до ∞ . Обычно данные значения отказов равны между собой, то есть $t_1 = t_2$ для этого распределения и отстоят от среднего значения T_{cp} на равные величины.

В большинстве случаев используют двусторонний тест, когда значения t -показателей для одно- и двустороннего теста зависят от доверительной вероятности безотказной работы B , что необходимо для формирования ширины АУК.

Значения t -показателей в зависимости от доверительной вероятности безотказной работы B для одно- и двустороннего тестов приведены в таблице.

Таблица

Значения наработки для одностороннего q_{t1} и двустороннего q_{t2} тестов при заданной вероятности безотказной работы B

Table

Operating hours for one-sided q_{t1} and two-sided q_{t2} tests for a given probability of no-failure operation B

B	q_{t1}	q_{t2}
0,750	0,6745	1,1503
0,800	0,8416	1,2816
0,850	1,0364	1,4395
0,900	1,2816	1,6449
0,925	1,4395	1,7805
0,950	1,6449	1,9600
0,975	1,9600	2,2414
0,990	2,3263	2,5758
0,999	3,0902	3,2905

Доверительная вероятность безотказной работы B объекта (ТНВД) составляет 95%. В одностороннем тесте значение t -показателя $t = q_{t1} = 1,6449$, а для двустороннего теста $t = q_{t2} = 1,96$.

При этом и в первом, и во втором случаях, то есть и для первого, и для второго участков наработки, процент отказов должен составлять 95% от всей площади законов распределения отказов. 5% этой площади не учитываются и берутся как погрешность прогнозирования. В машиностроении этот участок принято считать равным 95% от всей площади графика закона распределения отказов [12].

2. Определение границ и ширины АУК для ГОД

Ширина АУК определяется левой и правой границами. Левая граница t_1 для стандартного нормального закона распределения определяется как переменная Z -распределения:

$$t_1 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)}, \tag{1}$$

где \bar{x} – среднее значение параметра; μ_0 – среднее для данной выборки; σ – стандартное отклонение распределения данной выборки; n – размер выборки.

Данная граница используется для одностороннего теста безотказной работы BI . За пределами этой границы справа от $t1$ расположены проценты всех отказов, определенных по формуле (1). До этой границы отказы не учитываются. Это можно будет использовать при определении зоны гарантийного участка ремонта.

При одностороннем тесте доверительной вероятности безотказной работы 95% площади под кривой закона распределения ресурса расположены справа от значения $t_{0,95} = -1,645$ (рис. 5).

Для двустороннего теста значение $t_{1-0,05/2} = t_{0,975}$, $t = 1,96$ тоже задаёт 95% всех значений этого распределения и расположено в диапазоне $t1 \leq Z \leq t2$, то есть $-1,96 \leq Z \leq 1,96$.

Выбираем одно- или двусторонний тест и определяем левую $t1$ и правую $t2$ границы. Затем определяем ширину АУК при $Tcp = 3224$ мото-ч, $\sigma = 1066$ мото-ч (рис. 6).

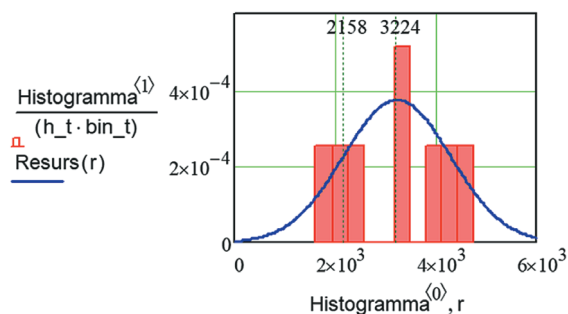


Рис. 6. График закона распределения ресурса ТНВД
Fig. 6. Graph of the resource distribution law of a fuel pump

Список использованных источников

1. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Катаев Ю.В., Соломашкин А.А. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин // Техника и оборудование для села. 2021. № 9 (291). С. 33-36. EDN: DQBNRT.
2. Соломашкин А.А. Состояние объекта // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 114-119. EDN: VPKYEP.
3. Денисов В.А., Соломашкин А.А. Обеспечение безотказной работы деталей машин с использованием новой системы переменных допусков // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30, № 1. С. 76-91. EDN: HTFUBU.
4. Денисов В.А., Катаев Ю.В., Соломашкин А.А., Герасимов В.С. Перспективы развития систем допусков в машиностроении // Вестник машиностроения. 2022. № 5. С. 21-24. EDN: СТБИWL.
5. Костомакхин М.Н., Петрищев Н.А., Воронов А.Н., Саяпин А.С. Классификация эксплуатационных факторов, приводящих к преждевременным отказам деталей сельскохозяйственных машин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2020. № 9. С. 12-19. EDN: ODDJGI.
6. Дорохов А.С. Бесконтактный контроль качества запасных частей сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2010. № 2 (41). С. 73-75. EDN: NGFAQJ.
7. Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е., Измайлов А.Ю., Арев А.М., Виноградов О.В., Егоров Р.Н., Стафеев В.И. Технологические процессы диагностирования и технического обслуживания двигателей транспортных и транспортно-технологических машин. М.: ООО «УМЦ «Триада», 2015. 109 с. EDN: VMXRDD.
8. Черноиванов В.И., Горячев С.А., Пильщиков Л.М., Голубев И.Г. Техническое обслуживание, ремонт и обновление сельскохозяйственной техники в современных условиях. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2008. 148 с. EDN: UCSIER.
9. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Повышение ресурса плунжерных пар ТНВД дизельных энергосредств // Наука в центральной России. 2014. № 3 (9). С. 47-54. EDN: SHLICD.

Для двустороннего теста и $B2 = 95\%$, $z1 = z2 = 1,96$, то есть отклонение от среднего значения Tcp равно $1,96\sigma$:

- левая граница АУК $z1 = Tcp - 1,96 \sigma = 3224 - 1,96 \cdot 1066 = 1135$ мото-ч;

- правая граница АУК $z2 = Tcp + 1,96 \sigma = 3224 + 1,96 \cdot 1066 = 5313$ мото-ч.

Соответственно ширина АУК равна

$t2 - t1 = (Tcp + 1,96 \sigma) - (Tcp - 1,96 \sigma) = 5313 - 1135 = 4178$ мото-ч.

Использование данного способа позволит повысить безотказность работы диагностируемой машины за счёт использования постгарантийного обслуживания.

Технический результат достигается организацией технического обслуживания и ремонта деталей машин, включающего в себя периоды гарантийного и постгарантийного обслуживания деталей машин. При этом период постгарантийного обслуживания разделен на два этапа. Первый этап – период обычной эксплуатации без диагностирования, длительность которого определяется по формуле $Tcp \pm 1,96 \sigma$, где Tcp – средний срок службы детали, мото-ч, а σ – среднее квадратическое отклонение ресурса, мото-ч. Второй этап – период активного участка контроля с ресурсным диагностированием, включающим в себя 95% эксплуатационных отказов.

Выводы

Предлагаемый способ технического обслуживания и ремонта, основанный на предупреждении отказов деталей машин путем применения постгарантийного обслуживания, позволит повысить безотказность работы диагностируемой машины.

References

1. Chernoiivanov V.I., Denisov V.A., Kataev Yu.V., Solomashkin A.A. Novaya strategiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta mashin [New strategy for the maintenance and repair of machines]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021; 9 (291): 33-36. (In Rus.)
2. Solomashkin A.A. Sostoyanie ob"ekta [State of the object]. *Trudy GOSNITI*. 2016; 122: 114-119. (In Rus.)
3. Denisov V.A., Solomashkin A.A. Obespechenie bezotkaznoy raboty detaley mashin s ispol'zovaniyem novoy sistemy peremennykh dopuskov [Ensuring trouble-free operation of machine parts using a new system of variable tolerances]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2020; 30(1): 76-91. (In Rus.)
4. Denisov V.A., Kataev Yu.V., Solomashkin A.A., Gerasimov V.S. Perspektivy razvitiya sistem dopuskov v mashinostroenii [Prospects for the development of tolerance systems in mechanical engineering]. *Vestnik mashinostroyeniya*. 2022; 5: 21-24. (In Rus.)
5. Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Voronov A.N., Sayapin A.S. Klassifikatsiya ekspluatatsionnykh faktorov, privodyashchikh k prezhdvremennym otkazam detaley sel'skokhozyaystvennykh mashin [Classification of operational factors leading to premature failures of agricultural machinery parts]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2020; 9: 12-19. (In Rus.)
6. Dorokhov A.S. Beskontaktniy kontrol' kachestva zapasnykh chastei sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Non-contact quality control of spare parts for agricultural machinery]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2010; 2 (41): 73-75. (In Rus.)
7. Didmanidze O.N., Mityagin G.E., Izmaylov A.Yu., Arev A.M., Vinogradov O.V., Egorov R.N., Stafeyev V.I. Tekhnologicheskie protsessy diagnostirovaniya i tekhnicheskogo obsluzhivaniya dvigateley transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin [Technological processes of diagnosis and maintenance of the engines of transport and transport-technological machines]. Moscow, UMTs Triada, 2015. 109 p. (In Rus.)
8. Chernoiivanov V.I., Goryachev S.A., Pilshchikov L.M., Golubev I.G. Tekhnicheskoe obsluzhivanie, remont, i obnovlenie sel'skokhozyaystvennoy tekhniki v sovremennykh usloviyakh [Maintenance, repair, and renewal of agricultural machinery in modern conditions]. Moscow, FGNU Rosinformagrotekh, 2008. 148 p. (In Rus.)
9. Lebedev A.T., Lebedev P.A. Povyshenie resursa plunzhernykh par TNVD dizel'nykh energosredstv [Increasing the resource of plunger pairs TNVD diesel engines]. *Наука в центральной России*. 2014; 3 (9): 47-54. (In Rus.)

10. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Теоретические предпосылки организации процесса входного контроля качества машиностроительной продукции // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2007. № 2 (22). С. 92-94. EDN: VYGHJB.

11. Erohin M., Leonov O., Kataev Yu., Vergazova Yu. Calculation of fits for cylindrical connections with key for reducers in agricultural machinery. *Engineering for Rural Development, Jelgava*. 2019. P. 469-474. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N014>.

12. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Kataev Yu.V., Vergazova Yu.G. Assessing the relative interchangeability in joints with preload. *Russian Engineering Research*. 2020; 40 (6): 469-472. <https://doi.org/10.3103/S1068798X2006009X>

of fuel injection pumps of diesel power equipment]. *Nauka v tseentral'noy Rossii*. 2014; 3 (9): 47-54. (In Rus.)

10. Semeikin V.A., Dorokhov A.S. Teoreticheskie predposylki organizatsii protsessa vkhodnogo kontrolya kachestva mashinostroitel'noy produkt-sii [Theoretical prerequisites for the organization of input quality control of machine-building products]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2007; 2 (22): 92-94. (In Rus.)

11. Erohin M., Leonov O., Kataev Yu., Vergazova Yu. Calculation of fits for cylindrical connections with key for reducers in agricultural machinery. *Engineering for Rural Development, Jelgava*. 2019: 469-474. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N014>.

12. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Kataev Yu.V., Vergazova Yu.G. Assessing the relative interchangeability in joints with preload. *Russian Engineering Research*. 2020; 40(6):469-472. <https://doi.org/10.3103/S1068798X2006009X>

Критерии авторства

Катаев Ю.В., Соломашкин А.А., Герасимов В.С. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов подготовили рукопись. Катаев Ю.В., Соломашкин А.А., Герасимов В.С. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 11.05.2022

Одобрена после рецензирования 19.07.2022

Принята к публикации 01.08.2022

Contribution

Yu.V. Kataev, A.A. Solomashkin and V.S. Gerasimov performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. Yu.V. Kataev, A.A. Solomashkin and V.S. Gerasimov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 11.05.2022

Approved after reviewing 19.07.2022

Accepted for publication 01.08.2022