

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /
POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 621.31: 519.2

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-51-56

К ВОПРОСУ УТОЧНЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ВОРОБЬЕВ ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: tatiana49@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Техническое обслуживание электрооборудования (ЭО) является основным и решающим профилактическим мероприятием, необходимым для обеспечения надёжной работы оборудования между плановыми ремонтами, и весомым фактором сокращения общего объёма ремонтных работ. Цель исследований – уточнение расчётов периодичности технического обслуживания электрооборудования в сельскохозяйственном производстве на основе современных представлений о функционировании технических систем. Представлены зависимости интенсивности отказов ЭО от времени эксплуатации и вероятности безотказной работы ЭО от времени. Используя зависимость вероятности безотказной работы объектов от времени и характерные особенности проведения технического обслуживания (ТО) технических объектов путём геометрических построений и математических преобразований с применением степенного ряда Тейлора, установлена взаимосвязь значения периодичности ТО с первоначальной стоимостью объекта, затратами на ТО, средним значением наработки на отказ и интенсивностью отказов объекта. Установлено, что значение интервала времени между ТО объекта пропорционально среднему значению наработки на отказ объекта и обратно пропорционально первоначальной стоимости объекта и интенсивности отказов объекта. Упомянутые опорные показатели, используемые в установленной зависимости, несложно получить в процессе эксплуатации объекта.

Ключевые слова: техническое обслуживание оборудования, вероятность безотказной работы объекта, периодичность профилактических мероприятий.

Формат цитирования: Воробьев В.А. К вопросу уточнения периодичности технического обслуживания электрооборудования в сельскохозяйственном производстве // *Агроинженерия*. 2020. № 2(96). С. 51-56. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-51-56.

DETERMINING THE FREQUENCY OF ELECTRICAL EQUIPMENT MAINTENANCE IN AGRICULTURAL PRODUCTION

VIKTOR A. VOROBYEV, DSc (Eng), Professor

E-mail: tatiana49@mail.ru

Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49.

Electrical equipment (EE) maintenance is a major and decisive preventive measure necessary to ensure the reliable operation of equipment between planned repairs and a significant factor in reducing the total amount of repair work. The research purpose is to analyze the frequency of electrical equipment maintenance in agricultural production based on modern ideas about the functioning of technical systems. The authors present relationships between the EE failure rate and the operating time as well as the probability of EO failure-free operation and time. Based on a probability dependence of trouble-free work of objects on time and the characteristic features of the maintenance of technical objects through simple geometric constructions and mathematical transformations with Taylor's power series, the author has established the relationship between the maintenance frequency and the original cost of an object, the maintenance costs, the average failure rate and the failure rate of an object. It is established that the time interval between the object maintenance operations is proportional to the average value of time between failures of the object and inversely proportional to the original cost of the object and the intensity of its failures. These reference indicators used in the established relationship are not difficult to obtain during the object operation.

Key words: maintenance of equipment, probability of trouble-free operation of an object, frequency of preventive maintenance.

For citation: Vorobyev V.A. Determining the frequency of electrical equipment maintenance in agricultural production. *Agricultural Engineering*, 2020; 2 (96): 51-56. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-51-56.

Введение. Техническое обслуживание электрооборудования (ЭО) является важной частью его эксплуатации, основным и решающим профилактическим мероприятием, необходимым для обеспечения надёжной работы оборудования между плановыми ремонтами, и весомым фактором сокращения общего объёма ремонтных работ [1, 2]. Оно предусматривает надзор за работой оборудования, уход за оборудованием, содержание его в исправном состоянии, проведение плановых технических осмотров и регулировок, промывок, чисток, продувок и т.д.

Техническое обслуживание проводится в процессе работы ЭО с использованием перерывов, нерабочих дней и смен. Допускается кратковременная остановка ЭО (отключение сетей) в соответствии с местными инструкциями. На выполнение регламентированного (планового) технического обслуживания ЭО предусматривается время простоя [3, 4].

В соответствии с ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники (Термины и определения) техническое обслуживание – это комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности объекта при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании [5].

Возможны следующие способы осуществления технического обслуживания [6]:

- по событию (например, устранение поломки оборудования) – используется, если себестоимость ремонта относительно низкая, а брак продукции, который получается в результате поломки оборудования, не высок и не влияет на выполнение обязательств перед заказчиками;

- регламентное обслуживание – для оборудования с предусмотренными режимами и регламентами обслуживания, изначально предполагающего регулярное применение соответствующих мер по поддержанию работоспособности, такой вид обслуживания обеспечивает самый высокий процент готовности оборудования, но он и самый дорогой, поскольку реальное состояние оборудования может и не требовать ремонта;

- по состоянию – экспертным путём или с помощью измерительных устройств, установленных на оборудовании, проводится оценка состояния оборудования, и на основании этой оценки делается прогноз, когда это оборудование надо выводить в ремонт. Плюсы этого вида обслуживания – его себестоимость меньше, а готовность оборудования к выполнению производственных программ достаточно высока.

В зависимости от условий эксплуатации система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППР и ТО), допускает отступления от нормируемой периодичности ТО [7]. Для этого необходимо уметь использовать методы определения оптимальной периодичности профилактических мероприятий. В настоящее время на практике из достаточно большого количества

методов определения оптимальной периодичности профилактических мероприятий наиболее широко применяются статистический, технико-экономический и метод с использованием положений теории надёжности [1, 8, 9].

Для эффективного использования этих методов в исходных данных должны быть сведения о надёжности применяемого ЭО, о влиянии периодичности профилактик на надёжность, размер технологического ущерба и др.

Цель исследований – уточнение расчётов периодичности технического обслуживания электрооборудования в сельскохозяйственном производстве на основе современных представлений о функционировании технических систем.

Методы, использованные в работе, заимствованы из теории математической статистики, теории операций, теории надёжности технических систем, математического анализа [1, 10].

Результаты и обсуждение. Получение упрощённой зависимости между параметрами работающих технических систем может быть использовано при оценке показателей надёжности технических объектов, например ЭО. При этом необходимо, опираясь на известную закономерность изменения интенсивности отказов оборудования, воспользоваться понятием безотказной работы объекта и ее вероятностью [8, 11]. Динамика изменения интенсивности отказов технических изделий представлена на рисунке 1 [12].

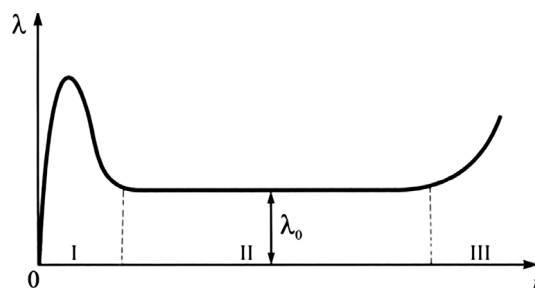


Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов ЭО (λ) от времени эксплуатации (t) в характерные периоды эксплуатации:

I – приработка; II – нормальная эксплуатация; III – старение

Fig. 1. Relationship between the EE failure rate (λ) and the operating time (t) in typical operating periods:
I – running-in; II – normal operation; III – aging

Характерной чертой для ЭО является увеличение интенсивности отказов в начальный период эксплуатации (I) по сравнению со значением интенсивности отказов в период нормальной эксплуатации (II). Для некоторых видов ЭО известно постепенное нарастание интенсивности отказов до интенсивности периода нормальной эксплуатации, что позволяет аппроксимировать эту зависимость удобной для дальнейшего анализа кубической параболой [13]. Рассмотрим период нормальной эксплуатации ЭО, в котором постепенные отказы ещё не проявляются, и надёжность ЭО

характеризуется внезапными отказами (рис. 1). Эти отказы вызваны неблагоприятным стечением обстоятельств, и поэтому имеют постоянную интенсивность $\lambda(t) = \text{const}$, не зависящую от возраста объекта, т.е. интенсивность отказов объекта за любой одинаковый промежуток времени в период нормальной эксплуатации остаётся неизменной (рис. 1).

Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в пределах заданной наработки или заданном интервале времени отказ объекта не возникает [14, 15]. Вероятность безотказной работы обратна вероятности отказа, и вместе с интенсивностью отказов определяет безотказность объекта. Значение вероятности безотказности объекта можно считать показателем эффективности работы объекта. Показатель вероятности безотказной работы определяется статистической оценкой:

$$W(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где N_0 – исходное число работоспособных объектов; $n(t)$ – число отказавших объектов за время t . При этом вероятность безотказной работы:

$$W(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

То есть, вероятность безотказной работы в период нормальной эксплуатации подчиняется экспоненциальному закону и имеет вид, представленный на (рис. 2) [15].

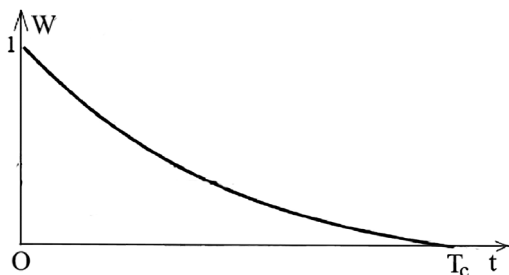


Рис. 2. Экспоненциальная зависимость вероятности безотказной работы ЭО от времени

Fig. 2. Exponential dependence of EE failure-free operation probability on time

Экспоненциальным законом распределения в эксплуатационной практике аппроксимируют время безотказной работы особо ответственных объектов, эксплуатируемых после окончания приработки до существенного проявления постепенных отказов; оборудования с последовательной заменой отказавших элементов; машин и аппаратов совместно с электро- и гидрооборудованием и системами управления и др.; сложных объектов, состоящих из многих элементов. Значительным достоинством экспоненциального распределения является его простота, так как оно имеет только один параметр [15].

Значение средней наработки объекта на отказ (T_c) представлено площадью на графике вероятности безотказной работы $W(t)$ от времени t (рис. 2). В начальный момент вероятность $W(t)$ равна единице. В конце работы системы вероятность $W(t)$ равна нулю. Здесь $t > 0$ – случайное время работы системы до отказа или наработка на отказ для невостанавливаемого элемента или системы. Для облегчения

вычислений криволинейную часть графика рисунка 2 заменяем прямой линией. Для этого применим аппроксимацию экспоненциальной функции рядом Тейлора [10]:

$$W = e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots = 1 - \lambda t. \quad (3)$$

Таким образом, график зависимости $W(t)$ примет вид, представленный на рисунке 3, из которого можно заключить, что основным средством поддержания вероятности безотказной работы объекта (точки B, C, H) на достаточно высоком уровне является проведение профилактических мероприятий (ТО) через интервалы времени BC, CH и т.д. Чем чаще проводятся ТО, тем выше значение вероятности безотказной работы объекта. Возникает необходимость связать имеющиеся данные об объекте.

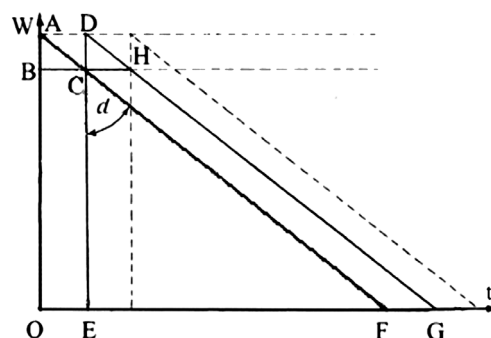


Рис. 3. Графическая интерпретация решаемой задачи

Fig. 3. Graphical interpretation of the solved problem

На рисунке 3 рассмотрим треугольники OAF и CDH . Отрезок OA характеризует начальный момент времени, соответствующий вероятности безотказной работы объекта ($W_A = 1$). В то же время этот отрезок символизирует исходную эффективность объекта, которая в данный момент имеет максимальное значение C_o . В данном случае принято допущение, что в процессе работы объекта его исходная эффективность снижается в результате случайных отказов, обусловленных различными причинами. Отрезки OF и EG символизируют среднее значение наработки объекта на отказ, т.е. $OF = EG = T_c$. В треугольнике CDH отрезок CH обозначает интервал времени между моментами TO , т.е. $CH = t_o$, отрезок CD равен затратам на проведение ТО, которые компенсируют возникший ущерб, т.е. $CD = 3_{\tau}$. Координаты гипотенуз в обоих треугольниках определяются зависимостью (3).

Согласно рисунку 3, $CD = DE - CE$, и $EF = OF - OE = T_c - t_o$,

$$\text{tg } \alpha = \frac{OF}{OA} = \frac{CH}{CD} = \frac{T_c}{C_o} = \frac{EF}{CE}, \quad (5)$$

откуда
$$CE = \frac{EF}{\text{tg } \alpha} = \frac{T_c - t_o}{\text{tg } \alpha},$$

Таким образом,

$$CD = 3_{\tau} = C_o - \frac{T_c - t_o}{\text{tg } \alpha} = C_o - \frac{(T_c - t_o)C_o}{T_c} = C_o \left(1 - \frac{(T_c - t_o)}{T_c} \right). \quad (7)$$

Откуда получим простую зависимость

$$t_o = \frac{3_{\tau} T_c}{C_o}. \quad (8)$$

Таким образом, получена простая зависимость, связывающая продолжительность интервалов между моментами ТО с наработкой, его начальной эффективностью и затратами на ТО.

Для сравнения полученных результатов приведем несколько методов оценки периодичности проведения ТО технических объектов.

При использовании статистического метода выбирают частный или обобщенный критерий состояния ЭО, например, снижение значения сопротивления изоляции до критического состояния за некоторый период [8]. Проводят наблюдения за выбранным ЭО и по статистическим данным устанавливают закон распределения времени достижения предельного значения выбранного критерия. По полученным характеристикам распределения подбирают такую продолжительность между профилактическими мероприятиями в пределах диапазона трех сигм, при которой соблюдается их предупредительный характер для заданного количества ЭО (диапазон трех сигм учитывают при предположении о нормальном распределении значений критерия состояния).

Для многих видов оборудования оптимальной стратегией технической эксплуатации служит планово-предупредительное обслуживание, при котором в заранее намеченные сроки проводят профилактическое обслуживание или ремонт. В этом случае отдают предпочтение методу, базирующемуся на теории надёжности. При этом, по мнению авторов, возникает возможность с наименьшими затратами поддержать интенсивность отказов на требуемом уровне [1]. Решение задачи о периодичности профилактик основано на графическом представлении влияния планово-предупредительных обслуживаний на надёжность.

После проведения профилактик (точки а и b) существенно замедляется снижение вероятности безотказной работы (рис. 5) и рост интенсивности отказов (рис. 4), в связи с тем, что упомянутые показатели становятся ближе к средним значениям $W_{cp}(t)$ и $\lambda_{cp}(t)$, т.е. чем меньше значения t_n , тем лучше указанные показатели.

По рисунку 4 задается верхняя граница интенсивности отказов (пунктир до точки а). При пересечении верхней границы заданного значения с кривой изменения $\lambda(t)$ проводят планово-предупредительное обслуживание. Искомая периодичность обслуживания находится при пересечении кривой изменения $W(t)$ с нижней границей заданного значения вероятности безотказной работы (рис. 5 точка b). Если нет ограничений на ресурсы, то малой периодичностью t_n можно поддерживать $W(t) = const$ на уровне новых изделий.

Периодичность t_n можно определить, исходя из графика, заданного (принятого) изменения $\lambda(t)$ или $W(t)$. Недостатком этого метода является необходимость определения коэффициента снижения интенсивности отказов с профилактикой и без неё. Вторым недостатком данного метода является то, что он базируется на заключительной стадии жизни объекта, когда интенсивность отказов начинает возрастать, в то время как наибольший интерес и значение для практики имеет проведение ТО в период нормальной эксплуатации объекта, когда интенсивность отказов изменяется незначительно или имеет постоянное значение.

Технико-экономический метод определения периодичности ТО является наиболее распространенным [9]. Этот метод сводится к определению суммарных удельных затрат на ТО и их минимизации. Минимальным затратам соответствует оптимальная периодичность ТО.

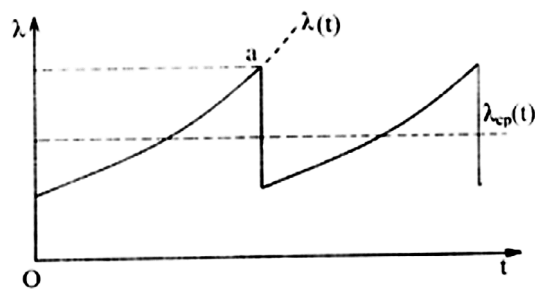


Рис. 4. Влияние планово-предупредительного обслуживания на интенсивность отказов:
 $\lambda_{cp}(t)$ – средняя интенсивность отказов;
 а – момент проведения планово-предупредительного обслуживания

Fig. 4. Effect of preventive maintenance on the failure rate:
 $\lambda_{cp}(t)$ – average failure rate;
 a – time of the scheduled preventive maintenance

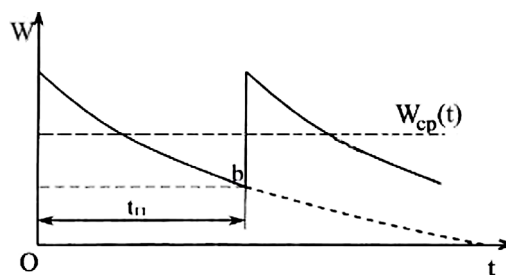


Рис. 5. Влияние планово-предупредительного обслуживания на вероятность безотказной работы:
 $W_{cp}(t)$ – средняя вероятность безотказной работы;
 t_n – периодичность планово-предупредительного обслуживания по заданному снижению интенсивности отказов;
 b – момент проведения планово-предупредительного обслуживания

Fig. 5. Impact of preventive maintenance on the non-failure operation probability:
 $W_{cp}(t)$ – the average probability of non-failure operation;
 t_p – periodicity of scheduled preventive maintenance for a given decrease in the failure rate;
 b – time of the preventive maintenance

Выражение

$$C_{\Sigma} \sum_{i=1}^n = C_i = C_{то} + C_p \tag{9}$$

является целевой функцией, экстремальное значение которой соответствует оптимальному решению. В данном случае оптимальное решение соответствует минимуму удельных затрат. Определение минимума целевой функции и оптимального значения периодичности ТО проводится графически (рис. 6) или аналитически (в случае, если известны зависимости $C_{то} = f(t)$ и $C_p = f(t)$).

Реализуя положения этого метода в работе получена целевая функция удельных суммарных затрат [6]:

$$3 = \frac{3_i}{t_i} + \lambda 3_o (1 + Y_i) t^\alpha, \tag{10}$$

где α – показатель эффективности профилактик.

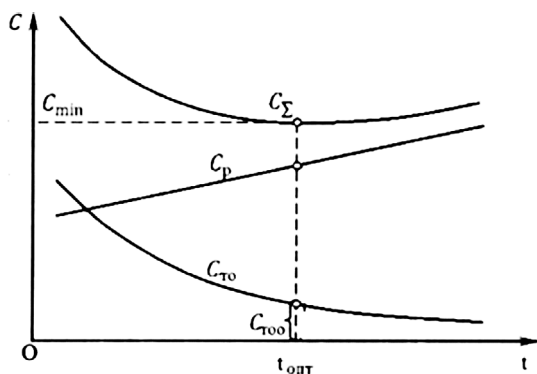


Рис. 6. Графическая интерпретация технико-экономического метода определения периодичности ТО:

C_p – удельные затраты на ремонт;
 $C_{то}$ – удельные затраты на ТО;
 $t_{опт}$ и $C_{то00}$ – оптимальные значения периодичности и затрат на ТО;
 t – периодичность ТО

Fig. 6. Graphical interpretation of the technical and economic method for determining the frequency of maintenance:
 C_p – specific repair costs; $C_{то}$ – specific maintenance costs;
 $t_{опт}$ and $C_{то00}$ – optimal values of frequency and maintenance costs; t – periodicity

После определения экстремума получается выражение для расчёта оптимальной периодичности профилактических мероприятий по критерию минимума удельных затрат [9]:

$$t_o = \sqrt[1+\alpha]{\frac{3_n}{\alpha \lambda 3_p (1 + Y_o)}} \quad (11)$$

Библиографический список

1. Ерошенко Г.П. Эксплуатация энергооборудования сельскохозяйственных предприятий / Г.П. Ерошенко Ю.А. Медведько М.А. Таранов. Ростов-на-Дону: ООО «Тера»; НПК «Гефест». 2001. 592 с.
2. Воробьев В.А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации. М.: Юрайт. 2016. 339 с.
3. Таран В.П. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1975. 304 с.
4. Андреев А.В. Теоретические основы надёжности технических систем / А.В. Андреев, В.В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. Изд-во СПб. гос. политех. университета. 2018. 164 с.
5. ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ. 2017. 14 с.
6. Медведев А.А. Эксплуатация электрооборудования в сельском хозяйстве / А.А. Медведев, С.А. Суворов, В.А. Лавров. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2014. 278 с.
7. Пястолов А.А. Эксплуатация электрооборудования / А.А. Пястолов, Г.П. Ерошенко. М.: ВО Агропромиздат, 1990. 287 с.
8. Хорощев Н.И., Баяндина Ю.С. Статистический метод определения периодичности проведения технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Уравнение (11) показывает, что значение оптимальной периодичности пропорционально затратам на профилактику и обратно пропорционально стоимости капитального ремонта, а также размеру технологического ущерба и интенсивности отказов. Наибольшее влияние на периодичность оказывает показатель α , который характеризует эффективность профилактик. Он показывает, на сколько процентов снижается интенсивность отказов при снижении периодичности на 1%. Определение показателя эффективности α является основной трудностью и слабым местом описанного метода.

Достоинствами технико-экономического метода являются простота, ясность и универсальность, а недостатками – это необходимость наличия достоверной информации о стоимости операций ТО и ремонта, влияния периодичности ТО на ресурс объекта, отсутствие учёта случайного характера используемых показателей, отсутствие гарантии определённого уровня безотказности.

Выводы

1. Проведение периодических профилактических мероприятий повышает вероятность безотказной работы любого технического объекта, снижает интенсивность отказов и повышает эффективность его эксплуатации.
2. Уточнение расчётов периодичности ТО на основе первоначальной стоимости объекта, затрат на ТО и среднего значения наработки на отказ позволит оперативно с достаточной степенью достоверности и точности решать вопросы организации эксплуатации объектов.
3. Упомянутые опорные показатели, используемые в установленной зависимости не сложно получить из практики в процессе эксплуатации объекта.

References

1. Yeroshenko G.P., Medved'ko Yu.A., Taranov M.A. Ekspluatatsiya energooborudovaniya sel'skokhozyaistvennykh predpriyatiy [Operation of power equipment of agricultural enterprises]. Rostov-na-Donu: ООО "Tera"; NPK "Gefest". 2001: 592. (In Rus.)
2. Vorob'yev V.A. Ekspluatatsiya i remont elektrooborudovaniya i sredstv avtomatizatsii [Operation and repair of electrical and automation equipment. Moscow, Yurayt. 2016: 393. (In Rus.)
3. Taran V.P. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye elektrooborudovaniya v sel'skom khozyaistve [Maintenance of electrical equipment in agriculture]. Moscow, Kolos, 1975: 304. (In Rus.)
4. Andreyev A.V., Yakovlev V.V., Korotkaya T.Yu. Teoreticheskiye osnovy nadezhnosti tekhnicheskikh sistem [Theoretical foundations of the reliability of technical systems]. Izd-vo SPb. gos. politekh. universiteta, 2018:16. (In Rus.)
5. GOST 18322-2016 Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Terminy i opredeleniya. Mezhhgosudarstvennyy standart [System for maintenance and repair of equipment. Terms and Definitions. Interstate standard]. Moscow, Standartinform, 2017: 14. (In Rus.)
6. Medvedev A.A., Suvorov S.A., Lavrov V.A. Ekspluatatsiya elektrooborudovaniya v sel'skom khozyaistve [Operation of electrical equipment in agriculture]. Moscow, FGBNU "Rosinformagrotekh", 2014: 278. (In Rus.)

М.: Фундаментальные исследования. 2016. № 11-3. С. 615-619.

9. Борисов Г.В. Уточнение технико-экономического метода определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей / Г.В. Борисов, Л.Н. Ерофеева. НГТУ. 2013. № 4. С. 37-43.

10. Бермант А.Ф. Краткий курс математического анализа / А.Ф. Бермант, И.Г. Араманович. М.: Наука. 1967. 736 с.

11. Решетов Д.Н. Надёжность машин: учеб. пособ. для машиностр. спец. вузов / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. М.: Высшая школа, 1988. 238 с.

12. Шишмарев В.Ю. Надёжность технологических систем. М.: Наука. 2010. 304 с.

13. Кочерга В.Г. Надёжность тепловозов. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС. 2012. 66 с.

14. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования. М.: ЭНАС. 2008. 360 с.

15. Половко А.М. Основы теории надёжности: практикум / А.М. Половко, С.В. Гуров. СПб.: БВХ-Петербург, 2006. 560 с.

7. Pyastolov A.A., Yeroshenko G.P. Ekspluatatsiya elektrooborudovaniya [Operation of electrical equipment]. Moscow, VO Agropromizdat, 1990: 287. (In Rus.)

8. Khoroshev N.I., Bayandina Yu.S. Statisticheskiy metod opredeleniya periodichnosti provedeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta elektrooborudovaniya [Statistical method for determining the frequency of maintenance and repair of electrical equipment]. Moscow, Fundamental'nyye issledovaniya, 2016; 11-3: 615-619. (In Rus.)

9. Borisov G.V., Yerofeyeva L.N. Utochneniye tekhniko-ekonomicheskogo metoda opredeleniya optimal'noy periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobiley [Clarification of the technical and economic method for determining the optimal frequency of vehicle maintenance]. NGTU, 2013; 4: 37-43. (In Rus.)

10. Bermant A.F., Aramanovich I.G. Kratkiy kurs matematicheskogo analiza [Short course in mathematical analysis]. Moscow, Nauka. 1967: 736. (In Rus.)

11. Reshetov D.N., Ivanov A.S., Fadeev V.Z. Nadezhnost' mashin: ucheb. posob. dlya mashinostr. spets. vuzov [Reliability of machines: Study manual for engineering majors]. Moscow, Vysshaya shkola, 1988: 238. (In Rus.)

12. Shishmarev V.Yu. Nadezhnost' tekhnologicheskikh sistem [Reliability of technological systems]. Moscow, Nauka, 2010: 304.

13. Kocherga V.G. Nadezhnost' teplovozov [Reliability of diesel locomotives]. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS. Khabarovsk, 2012: 66. (In Rus.)

14. Yashchura A.I. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta obshchepromyshlennogo oborudovaniya [System for maintenance and repair of general industrial equipment]. Moscow, ENAS. 2008: 360. (In Rus.)

15. Polovko A.M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadezhnosti: praktikum [Fundamentals of the theory of reliability: Training guide]. SPb.: BVKH-Peterburg. SPb, 2006: 560. (In Rus.)

Критерии авторства

Воробьев В.А. выполнил теоретические исследования, на основании полученных результатов провёл обобщение и написал рукопись. Воробьев В.А. имеет на статью авторские права и несёт ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 15.01.2020

Опубликована 27.04.2020

Contribution

V.A. Vorobyev performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. V.A. Vorobyev has author's rights and bears responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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

The paper was received on January 15, 2020

Published 27.04.2020