

УДК 658.58/513

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Хорошев Н.И., Баяндина Ю.С.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: horoshev@msa.pstu.ru, yu.bayandina@mail.ru*

В статье рассмотрен вариант определения параметра оптимальной периодичности проведения мероприятий в области технического обслуживания и ремонта электрооборудования. Предлагаемый способ расчета направлен на обеспечение минимизации внеплановых (аварийных) и плановых простоев производственного электротехнического оборудования. На основе общеизвестного статистического метода был предложен консолидированный алгоритм определения оптимальной периодичности мероприятий ремонтного и профилактического (предупредительного) характера. Осуществлена формализация ключевых эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на техническое состояние оборудования. Приведены результаты расчетов различных статистических показателей для группы электродвигателей, определяющих теоретический закон распределения времени достижения оборудованием предельного состояния (значения). Предложенный способ повышения эффективности технического обслуживания и ремонта электрооборудования имеет практический интерес и может быть использован при построении систем технической эксплуатации оборудования промышленных предприятий.

Ключевые слова: метод планирования, техническое обслуживание и ремонт, оборудование, оптимальная периодичность

STATISTICAL METHOD FOR DETERMINING OPTIMAL PERIODICITY FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Khoroshev N.I., Bayandina Yu.S.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: yu.bayandina@mail.ru, horoshev@msa.pstu.ru

In the article the question of choosing the optimal frequency of the maintenance and repair of electrical equipment, in which the minimized unplanned (emergency) and planned downtime of production facilities. On the basis of the statistical method was proposed consolidated algorithm to determine the optimal frequency of maintenance activities that are preventive in nature. Described formalization of operational factors, will inevitably affect the equipment. The results of calculations of the statistical parameters of the group of electric motors, the law establishing the allocation of time to achieve the limit value. The proposed method of increasing the efficiency of maintenance and repair of electrical equipment, is of practical interest and can be used in an industrial plant.

Keywords: planning method, maintenance and repair, equipment, the optimal frequency

Современные российские промышленные предприятия и сетевые компании постепенно приходят к пониманию значимости вопросов совершенствования технологии технического обслуживания и ремонта (ТОиР) электроэнергетического оборудования, его диагностики с учётом целого множества технических, технологических, экономических, инфраструктурных, климатических и других видов факторов. Процедуры, направленные на контроль текущего состояния оборудования и планирование ремонтно-профилактических и других видов работ, позволяют максимально эффективно использовать фактический ресурс оборудования, предотвратить его аварийный отказ и сократить время планового простоя.

На основе данных, собранных в результате диагностики электрооборудования, происходит его многокритериальная оценка с последующим планированием организа-

ционно-технических мероприятий, направленных на предупреждение возникновения аварийных ситуаций. Осуществляется составление календарных графиков, в которых указывают сроки проведения осмотров, малых, средних и капитальных ремонтов по каждой единице оборудования. Таким образом, появляется возможность максимально увеличить качество функционирования системы технической эксплуатации электрооборудования и свести к минимуму денежные и временные затраты.

Цель и задачи исследования

Цель заключается в оптимальном выборе периодичности ТОиР, который носит предупредительный характер для заданного числа электрооборудования. Для этого необходимо на основе статистического метода разработать общий алгоритм определения оптимальной периодичности ремонтных мероприятий. Принимая во внимание экс-

платационные факторы, требуется также рассчитать статистические показатели, устанавливающие закон распределения времени достижения оборудованием предельного состояния.

Обоснование периодичности ремонта электрооборудования

Для того чтобы электроэнергетическое оборудование находилось в исправном состоянии, предприятия чаще всего используют одну из стратегий ремонта – по техническому состоянию оборудования. Эта стратегия является весьма эффективной в рамках промышленного предприятия [2, 7]. Основной задачей данной стратегии является определение оптимальной периодичности проведения профилактических мероприятий.

Отказ электрооборудования может привести к серьезным авариям и простоям, поэтому профилактические мероприятия, основанные, например, на статистических характеристиках, способствуют увеличению срока его эксплуатации. В ходе исследования был предложен алгоритм статистического метода определения оптимальной

периодичности проведения технического обслуживания (рис. 1).

Данный метод основывается на моделировании реальных случайных процессов технического обслуживания, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания [6].

В начале алгоритма необходимо определиться с видом, количеством контролируемых объектов (блок 1). В качестве объекта процедуры ремонтных мероприятий рассмотрена группа электрических двигателей, поскольку они являются одними из наиболее ответственных элементов во многих технологических процессах промышленного предприятия. Следующим этапом является выбор метода измерения контролируемых параметров – прямой, косвенный, совместный, совокупный. В зависимости от выбранного метода необходимо подобрать средства измерения (блок 3). Например, для измерения температуры воздуха используют термометр, силы тока – амперметр, диаметра вала – микрометр, сопротивления изоляции – мегаомметр и т.п.

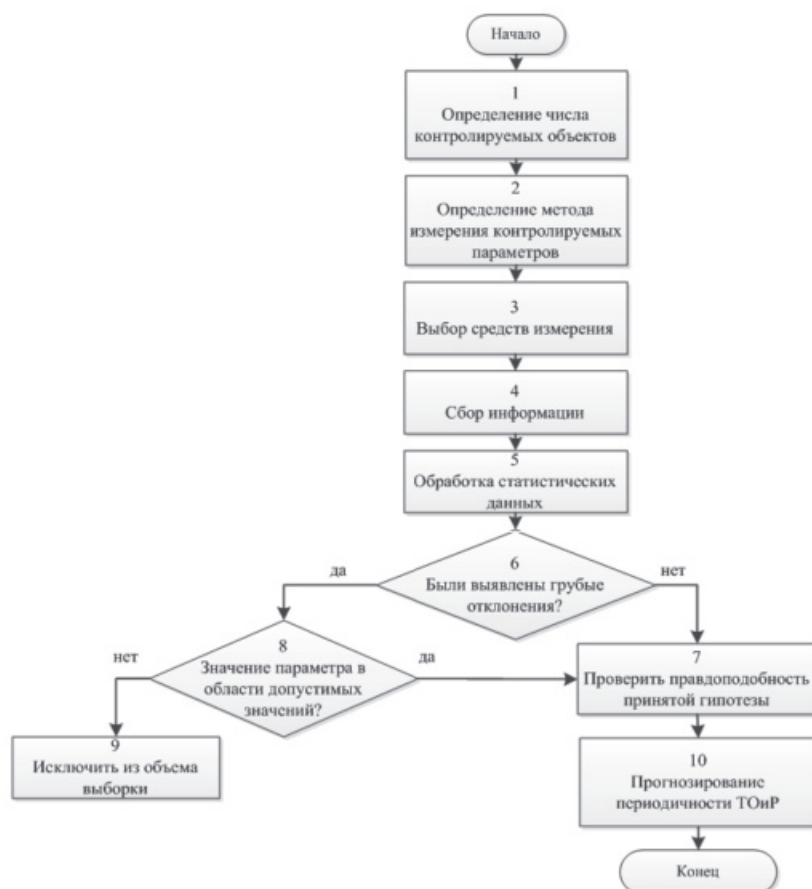


Рис. 1. Общий алгоритм статистического метода определения периодичности ТОиР

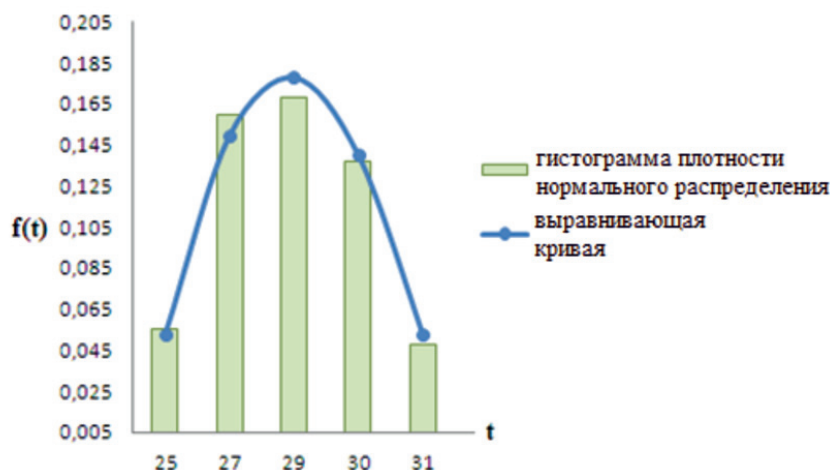


Рис. 2. Гистограмма плотности нормального распределения статистических данных

Значения параметров могут быть собраны (блок 4) в результате периодического контроля с использованием экспертной оценки. По собранным результатам измерений осуществляют обработку статистических данных (блок 5). После проведения анализа данных возможно получение результата, который сильно отличается от среднего значения выборки. Эта ситуация может возникнуть вследствие погрешности средств измерений, неправильного использования измерительного прибора, невнимательности наблюдателя.

Чтобы исключить грубые ошибки (промахи) измерений, используют, например, область допустимых значений параметра (блоки 8 и 9). Если значение параметра окажется в данной области, то можно полагать, что наблюдаемое значение не является ошибочным [1].

На предпоследнем этапе необходимо проверить правдоподобность гипотезы (блок 7), то есть определить степень согласия собранных данных и теоретических законов. Исходя из полученных данных, составляется прогноз периодичности ТОиР (блок 10).

При определении оптимальной периодичности проведения ТОиР необходимо учитывать условия эксплуатации оборудования, которые характеризуются количественными и качественными характеристиками. Если оборудование используют в более благоприятных условиях, чем модельные, наработка ее до капитального ремонта должна увеличиваться, и, наоборот, при работе в тяжелых условиях ее межремонтная (доремонтная) наработка уменьшится [4].

Совокупность эксплуатационных факторов, которые влияют на наработку электрических машин, можно представить следующим образом:

1. Электромеханические:
 - степень загрузки;
 - вибрация;
 - электрическое напряжение;
 - сопротивление изоляции.
2. Объективные факторы, которые не зависят от использования оборудования:
 - температура;
 - влажность;
 - запыленность воздуха производственной среды.
3. Субъективные (случайные) факторы:
 - квалификация обслуживающего персонала;
 - уровень организации технического обслуживания и ремонта машин [3, 5].

В данной работе учтены факторы, неизбежно влияющие на надежность оборудования.

Для расчетов статистических показателей была выбрана группа электродвигателей промышленного предприятия по обобщенному критерию – сопротивление изоляции.

Расчет статистических показателей

Для расчета статистических показателей, определяющих периодичность проведения профилактических и ремонтно-восстановительных мероприятий, анализировалась работа пяти асинхронных электрических машин. При этом в качестве основного показателя рассматривался параметр предельного состояния – время наработки до критического состояния. В ходе наблюдений были полу-

чены следующие значения данного показателя: 27, 25, 30, 31, 29 месяцев.

На рис. 2 изображена диаграмма плотности нормального распределения $f(t)$ статистических данных и выравнивающая ее кривая (теоретический закон распределения). При этом теоретическая кривая нормального закона распределения может быть построена на основе расчета параметров закона модуля разности или на основе выражения [4]:

$$f(t) = \frac{C_p \sum_{i=1}^n m_i}{\sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}},$$

где C_p – величина интервала, определяемая на основе генеральной совокупности анализируемых данных; $t = (t_i - \bar{t})/\sigma$; σ – среднее квадратическое отклонение анализируемого признака; m_i – частота анализируемого признака (количество двигателей, достигших своего предельного состояния).

Если принять оптимальную периодичность профилактических мероприятий (t_0) равную средней и наибольшей продолжительности работы оборудования (\bar{t}), то присутствует большая вероятность того, что обслуживание уже не понадобится, поскольку некоторые электрические машины (двигатели) достигнут предельного состояния [6]. Поэтому следующим шагом необходимо рассчитать оптимальную периодичность. Для этого определяются параметры статистического распределения (1)–(7).

Математическое ожидание, мес.:

$$M(t) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{27 + 25 + 30 + 31 + 29}{5} = 28,4. \quad (1)$$

Дисперсия, мес.²:

$$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - M(t))^2}{n} = 4,64. \quad (2)$$

Среднеквадратичное отклонение, мес.:

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - M(t))^2}{n}} = 2,15. \quad (3)$$

Далее необходимо определить периодичность, которую можно считать оптимальной:

$$t_0 = \bar{t} - \sigma = 28,4 - 2,15 = 26,25, \quad (4)$$

$$t_0 = \bar{t} + \frac{2}{3}\sigma = 28,4 + \frac{2}{3} \cdot 2,15 = 29,8, \quad (5)$$

$$t_0 = \bar{t} + 3\sigma = 28,4 + 3 \cdot 2,15 = 34,85, \quad (6)$$

$$t_0 = \bar{t} - 3\sigma = 28,4 - 3 \cdot 2,15 = 21,95. \quad (7)$$

Периодичность, рассчитанная по формуле (7), не может быть оптимальной, поскольку по истечению данного периода времени ни один из двигателей не достигнет предельного состояния. Остановы для проведения профилактических или ремонтных мероприятий будут частыми и нерезультативными, что приведет к дополнительным временным и денежным затратам.

Если выбрать периодичность (6), то формируется противоположная ситуация – все двигатели преждевременно достигнут своего предельного состояния и профилактика в данном случае не будет иметь предупредительный характер, то есть аварийная ситуация может возникнуть намного раньше.

Проанализировав выражения (4)–(7), можно констатировать, что при использовании формы (5) предельного состояния достигнут порядка 60,2% электродвигателей, а при (4) – только 20%, что существенно меньше.

Следовательно, можно сделать вывод, что оптимальной периодичностью является $t_0 = \bar{t} - \sigma$, так как по истечению данного периода времени только 20% двигателей достигнут предельного состояния, для оставшихся 80% мероприятия будут носить предупредительный характер. Процедуры ТОиР не будут частыми и позволят повысить качество функционирования системы технической эксплуатации электрооборудования и свести к минимуму денежные и временные затраты.

Заключение

Согласно рассмотренному методу определения оптимальной периодичности проведения ТОиР электрооборудования были рассчитаны статистические показатели, устанавливающие закон распределения времени наработки до отказа. Предложенный способ повышения эффективности технического обслуживания и ремонта электрооборудования имеет практический интерес и может быть применен на промышленном предприятии.

Список литературы

1. Антоненко И.Н., Крюков И.Э. Информационные системы и практики ТОиР: Этапы развития / Главный энергетик. – 2011. – № 10. – С. 37–44.
2. Баяндина Ю.С., Хорошев Н.И. Комплексная интеллектуальная оценка состояния электротехнического оборудования // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы Всерос. Научно-практ. конф., г. Пермь, 15 мая 2015 г. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015. – С. 243–248.
3. Ерошенко Г.П., Медведько Ю.А., Таранов М.А. Эксплуатация энергооборудования сельскохозяйственных

предприятий: Учебник для вузов по специальности 311400 и 101600 «электрификация и автоматизация сельского хозяйства». – Ростов-на-дону: ООО «Тера»; НПК «Гефест». – 2001. – 592 с.

4. Основы технической диагностики: в 2-книгах. Кн.1: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомоняни др.; Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.

5. Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. «Эксплуатация электрооборудования». – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 287 с.

6. Таран В.П. «Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве». – М.: Космос, 1975. – 304 с.

7. Черепанов С.С. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве (основы научной организации). – М.: Колос, 1978. – 15 с.

References

1. Antonenko I.N., Krjukov I. Je. Informacionnye sistemy i praktiki TOIR: Jetapy razvitija / Glavnij jenergetik. 2011. no. 10. pp. 37–44.

2. Bajandina Ju.S., Horoshev N.I. Kompleksnaja intelektualnaja ocenka sostojanija jelektrotehnicheskogo oborudovanija // Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii: materialy Vseros. Nauchno-prakt. konf., g. Perm, 15 maja 2015 g. Perm: Izd-vo PNIPU, 2015. pp. 243–248.

3. Eroshenko G.P., Medved#ko Ju.A., Taranov M.A. Jekspluatacija jenergooborudovanija sel'skohochozjajstvennyh predpriyatij: Uchebnik dlja vuzov po specialnosti 311400 i 101600 «jelektifikacija i avtomatizacija sel'skogo hozjajstva». Rostov-na-donu: ООО «Тера»; НПК «Гефест». 2001. 592 p.

4. Osnovy tehnicheckoj diagnostiki: v 2-knigah. Kn.1: Modeli obektov, metody i algoritmy diagnoza / V.V. Karibskij, P.P. Parhomenko, E.S. Sogomonjani dr.; Pod red. P.P. Parhomenko. M.: Jenergija, 1976. 464 p.

5. Pjastolov A.A., Eroshenko G.P. «Jekspluatacija jelektrooborudovanija». M.: VO Agropromizdat, 1990. 287 p.

6. Taran V.P. «Tehnicheckoe obsluzhivanie jelektrooborudovanija v sel'skom hozjajstve». M.: Kosmos, 1975. 304 p.

7. Cherepanov S.S. Tehnicheckoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom hozjajstve (osnovy nauchnoj organizacii). M.: Kolos, 1978. 15 p.