

УДК: 621.019

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.23

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

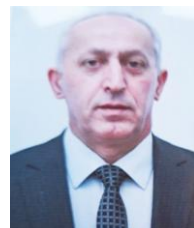
ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ



Абдуллаева Самира Афган кызы

Кандидат технических наук, Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики; преподаватель кафедры «Механическая инженерия», Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (АГУНП), Азербайджан

E-mail: samira.afgan@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0002-8362-0891



Джаббаров Тахир Гаффар оглы

Доктор технических наук, профессор кафедры «Механическая инженерия», Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (АГУНП), Азербайджан

E-mail: tahir.cabbarov@asoju.edu.az
ORCID ID: 0000-0002-5922-8785

Аннотация. В статье представлена методика оценки остаточного ресурса высоковольтных выключателей и контроля качества восстановления износа, основанная на комплексном анализе эксплуатационных данных о расходе коммутационного ресурса при отключениях токов короткого замыкания и на динамике износа узлов выключателя вследствие механических, электрических и тепловых воздействий. Предложен интеллектуальный подход к обработке результатов диагностики, включающий текущую оценку технического состояния выключателя, определение сроков и объёма очередного мониторинга, отслеживание динамики износа узлов выключателя во времени и формирование информационно-методической базы для поддержки эксплуатационного персонала. Показано, что переход от планово-предупредительного обслуживания к ремонту по техническому состоянию позволяет повысить эффективность планирования сроков и объёмов восстановительных работ, снижая при этом риск принятия ошибочных эксплуатационных решений. Отдельное внимание уделено автоматизированному контролю качества выполненного ремонта.

Ключевые слова: высоковольтный выключатель, диагностика состояния, скорость износа, качество ремонта, остаточный ресурс, риск ошибочного решения.

Received: 05.08.2026

Accepted: 06.09.2026

Issue publication: 28.09.2026

YUQORI VOLTLI O'CHIRGICHLARNING TEXNIK HOLATINI INTELLEKTUAL MONITORING ORQALI ISHONCHLILIGINI OSHIRISH

Abdullayeva Samira Afgan qizi

Texnika fanlari nomzodi, Ozarbayjon energetika ilmiy-tadqiqot va loyiha-qidiruv instituti, Ozarbayjon davlat neft va sanoat universiteti (ADNSU) "Mexanika muhandisligi" kafedrası o'qituvchisi, Ozarbayjon

Jabbarov Tohir Gaffar o'g'li

Texnika fanlari doktori, professor, Ozarbayjon davlat neft va sanoat universiteti (ADNSU) "Mexanika muhandisligi" kafedrası, Ozarbayjon

Annotatsiya. Maqolada qisqa tutashuv toklarini uzishdagi kommutatsion resurs sarfi to'g'risidagi ekspluatatsion ma'lumotlarni hamda mexanik, elektr va issiqlik ta'sirlari natijasida uzellar yeyilishining dinamikasini kompleks tahlil qilishga asoslangan yuqori voltli o'chirgichlarning qoldiq resursini baholash va yeyilishni tiklash sifatini nazorat qilish metodikasi taqdim etilgan. Diagnostika natijalarini qayta ishlashning intellektual yondashuvi taklif etilgan bo'lib, u o'chirgichning texnik holatini joriy baholash, navbatdagi monitoring muddatlari va hajmini aniqlash, vaqt o'tishi bilan o'chirgich uzellari yeyilishining dinamikasini kuzatib borish hamda ekspluatatsiya xodimlarini qo'llab-quvvatlash uchun axborot-metodik bazasini shakllantirishni o'z ichiga oladi. Rejali-ogohlantiruvchi xizmat ko'rsatishdan texnik holati bo'yicha ta'mirlashga o'tish tiklash ishlarining muddatlari va hajmini rejalashtirish samaradorligini oshirish imkonini berishi, shu bilan birga ekspluatatsion qarorlar qabul qilishdagi xatolar xavfini kamaytirishi ko'rsatilgan. Bajarilgan ta'mirlash sifatini avtomatlashtirilgan tarzda nazorat qilishga alohida e'tibor qaratilgan.

Kalit so'zlar: yuqori voltli o'chirgich, holat diagnostikasi, yeyilish tezligi, ta'mirlash sifati, qoldiq resurs, xato qaror qabul qilish xavfi.

IMPROVING THE RELIABILITY OF HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS THROUGH INTELLIGENT CONDITION MONITORING

Abdullayeva Samira Afgan gyzy

Candidate of Technical Sciences, Azerbaijan Scientific Research
and Design-Survey Institute of Energy; Lecturer at the Department
of Mechanical Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry
University (ASOIU), Azerbaijan

Jabbarov Tahir Gafar oglu

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of
Mechanical Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry
University (ASOIU), Azerbaijan

Abstract. The article presents a methodology for assessing the remaining useful life of high-voltage circuit breakers and controlling the quality of wear restoration, based on a comprehensive analysis of operational data regarding the consumption of the switching resource during short-circuit current interruptions and the wear dynamics of breaker components resulting from mechanical, electrical, and thermal influences. An intelligent approach to processing diagnostic results is proposed, which includes the current assessment of the circuit breaker's technical condition, determining the schedules and scope of subsequent monitoring, tracking the wear dynamics of breaker components over time, and forming an information and methodological base to support operational personnel. It is shown that the transition from scheduled preventive maintenance to condition-based maintenance improves the efficiency of planning the schedules and scopes of restoration work while reducing the risk of making erroneous operational decisions. Special attention is paid to the automated quality control of completed repairs.

Keywords: high-voltage circuit breaker, condition diagnostics, wear rate, repair quality, remaining useful life, risk of erroneous decision.

Введение. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта высоковольтных выключателей остаётся одной из актуальных задач эксплуатации энергосистем. Высоковольтные выключатели — один из наиболее ответственных узлов энергосистемы, и именно для них задача цифровизации диагностики особенно актуальна: ошибка в оценке технического состояния способна привести либо к неоправданным затратам на преждевременный ремонт исправного оборудования, либо, что значительно опаснее, к системной аварии вследствие пропущенного

дефекта.

Один из перспективных путей решения этой задачи — построение интеллектуальной информационной системы, обеспечивающей анализ надёжности и непрерывный контроль технического состояния выключателей с целью повышения достоверности оценки их остаточного ресурса [1]. Ключевая особенность такой системы заключается в эффективном сопоставлении информации о техническом состоянии выключателей систем непрерывного мониторинга, поступающих как от встроенных или переносных диагностических комплексов, так и

результатов периодических профилактических испытаний оборудования [2]. Интеллектуальный анализ этих потоков информации объединяет в себе оценку текущего состояния оборудования, позволяет оценить «скорость износа» узлов и выявить так называемые «слабые звенья» — конструктивные элементы, находящиеся в критической зоне [3]. Целесообразность установки переносных средств непрерывной диагностики возрастает по мере сокращения остаточного интервала межремонтного периода; в первую очередь такие устройства рекомендуется устанавливать на линейных выключателях, где число автоматических отключений заметно превышает среднестатистическое.

Сравнительный анализ методов испытаний отдельных узлов выключателя даёт возможность оценить, насколько эффективно каждый метод выявляет дефекты, и, соответственно, выбрать оптимальный набор средств контроля [4]. Контроль технического состояния принято различать по этапам жизненного цикла оборудования: при вводе в эксплуатацию нового или прошедшего капитальный ремонт выключателя; непосредственно перед капитальным ремонтом; в рамках текущих и межремонтных проверок. Учитывая, что число контролируемых параметров исчисляется десятками, а сама процедура ранжирования выключателей и выявления «слабых звеньев» требует специальной подготовки персонала, ручная обработка подобного объёма данных становится трудоёмкой и малоэффективной — что и обуславливает необходимость автоматизации этого процесса.

Литературный анализ и методы. Информация о техническом состоянии выключателя, формируемая по результатам испытаний, включает в себя ряд взаимосвязанных сведений [5].

Заключение по результатам испытаний. В выходном документе по результатам контроля отражается:

- полнота выполнения регламентированного объёма испытания;
- соответствие измерительных приборов установленным требованиям;

- сопоставление нормативных и фактически измеренных значений параметров;
- проверка условия неперевышения остаточного срока безотказной работы интервалу времени до планового ремонта;
- перечень дефектов, выявленных при осмотре и испытаниях однотипных выключателей;
- данные об остаточном ресурсе узлов выключателя;
- перечень узлов выключателя, требующих восстановления износа при очередном отключении выключателя.

Анализ скорости износа узлов. Скорость нарастания износа того или иного узла выключателя определяется как отношение приращения износа к прошедшему интервалу времени между двумя последовательными испытаниями:

$$vIz(t_2 - t_1) = \frac{Iz(t_2) - Iz(t_1)}{(t_2 - t_1)}, \quad (1)$$

где: $Iz(t_2)$ — величина износа, установленного при текущем испытании выключателя; $Iz(t_1)$ — величина износа, установленного при предшествовавшем испытании.

На основе оценки скорости износа узлов выключателя формируется ранжирование узлов по темпу изнашивания, сравнение полученных скоростей со средними значениями для однотипных выключателей, уточнение периодичности последующих испытаний для наиболее «быстро изнашивающихся» узлов, а также прогнозирование момента, когда тот или иной параметр достигнет предельно допустимого значения.

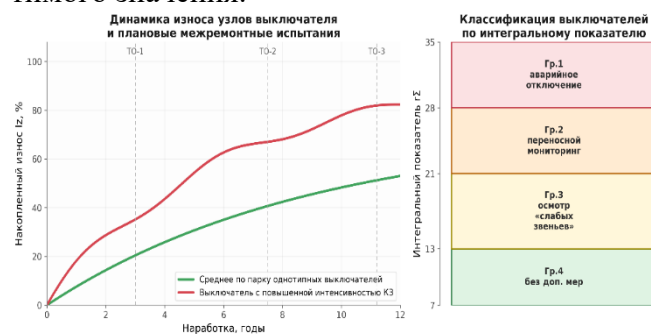


Рис.1. Типовая динамика износа узлов выключателя во времени.

Уточнение сроков очередного испытания и динамика изменения износа выключателя. Даты межремонтных испытаний определяются исходя из фактического технического состояния конкретного выключателя, а не по жёсткому регламенту. Персоналу предоставляются:

- оценка остаточного интервала безотказной работы каждого узла выключателя;
- рекомендуемые дата и объём очередного мониторинга (при отсутствии встроенных диагностических средств — дата и объём внепланового испытания);
- обновлённый план-график диагностических мероприятий по предприятию в целом.

Отслеживание изменения износа во времени (рис. 1) необходимо для характеристики технического состояния оборудования, изучения особенностей расходования его ресурса и разработки мер по повышению безотказности. Персоналу предоставляется:

- график изменения износа узлов во времени с указанием параметров каждой коммутации (времени отключения тока КЗ, эффективности автоматического или ручного повторного включения, вида и величины тока КЗ);
- сопоставление индивидуальной кривой износа со средней зависимостью, характерной для аналогичного выключателя;
- классификация условий эксплуатации выключателя.

Если расход ресурса конкретного выключателя превышает среднестатистический, оборудование относится к группе повышенного риска возникновения системных аварий.

Метод планирования сроков и объема восстановления износа. Очевидная необходимость перехода от проведения планового ремонта выключателя с жёстко регламентированной периодичностью и объёмом к ремонту по техническому состоянию сопряжена с преодолением ряда методических трудностей — прежде всего, с отсутствием формализованного способа ранжирования выключателей по их надёжности и значимости в схеме, а также возможности характеристики надёжности узлов выключателя с целью формирования объёма ремонта [6]. Практика эксплуатации показывает,

что заданная периодичность восстановления износа соблюдается не всегда. Выключатели, техническое состояние которых вызывает обоснованные опасения, порой не выводятся в плановый ремонт своевременно, а при отсутствии резервных узлов восстанавливаются лишь отдельные составляющие износа — т.е. после ремонта его величина не возвращается к исходному значению. Ведь узел не новый. Это, в свою очередь, требует сокращения межремонтного периода, что на практике, как правило, реализуется далеко не всегда.

Ранжирование выключателей в порядке понижения их надёжности и значимости позволяет выделить приоритетные объекты для планового ремонта в соответствии с доступным ресурсом предприятия. Если же за основу взять рекомендуемую заводом-изготовителем периодичность ремонтов, то могут быть выделены для ремонта выключатели, срок безотказной работы которых больше этого интервала.

Эффективным подходом к выполнению ранжирования парка выключателей служит расчёт интегрального показателя значимости выключателя по ряду значимых признаков. На этой основе разработаны метод и алгоритм расчёта, учитывающие особенности функционирования конкретного выключателя и его значимые признаки [7]. К таким значимым признакам можно отнести: $T_{сл}$ — срок службы выключателей; $T_{н.сл}$ — нормативный срок службы выключателя; $\Delta I z_{кз}^*$ — оценка механического износа, возникающего при отключении (включении) КЗ; $T_{ср}$ — наработка после планового среднего ремонта; $T_{пр}$ — регламентированная длительность межремонтного периода; $m_{а.з}^*$ — число отключений выключателя по аварийной заявке для ликвидации дефекта; $h_{ав}^*$ — удельное число отказов в отключении КЗ.

В таблице 1 приведены разновидности каждого из выбранных семи признаков. Классификация проводилась по пятибалльной системе. Помимо количественных признаков в рассмотрение включены и признаки с номинальной шкалой измерения — техническое состояние и последствия возможного отказа. Каждый выключатель имеет индивидуальные реализации *разновидности признака (РП)*.

Например, у каждого выключателя свой срок службы, механический износ, наработка после планового ремонта и др.

Таблица 1.

Классификация разновидностей значимых признаков

№	Признак	1	2	3	4	5
1	Тсл, лет	< 0,5 Т _{нсл}	0,5–1,0 Т _{нсл}	1,0–1,5 Т _{нсл}	1,5–2,0 Т _{нсл}	> 2,0 Т _{нсл}
2	ΔI_{Σ}^* , о.е.	0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	> 0,8
3	Тпр, лет	< 0,3 Т _{пр}	0,3–0,6 Т _{пр}	0,6–0,9 Т _{пр}	0,9–1,2 Т _{пр}	> 1,2 Т _{пр}
4	m_{Σ}^* , отк/год	1	2	3	4	≥ 4
5	n_{Σ}^* , отк/год	0–0,5	0,5–1	1–1,5	1,5–2	≥ 2
6	Техническое состояние	хорошее	удовлетворительное	зона риска	дефектное	аварийное
7	Последствия отказа	снижение структурной надёжности	ограничение транзита ЭЭ	отказ в транзите ЭЭ	обесточение потребителя	системная авария

Суммируя порядковые номера разновидностей, реализовавшихся для конкретного выключателя, получаем его интегральный показатель $r\Sigma = \Sigma r_i$ ($i=1,7$). Рассчитав этот показатель для всех единиц оборудования, их можно упорядочить по возрастанию значимости и разделить на четыре группы, каждой из которых соответствует своя стратегия обслуживания (рисунок 2). В первую группу относим выключатели, интегральный показатель которых изменяется в интервале (28–35). Выключатели этой группы должны быть в ближайшие дни по аварийной заявке выведены на плановый ремонт. Во вторую группу относим выключатели, интегральный показатель которых изменяется в интервале (21–27). Для этих выключателей рекомендуется установка переносных систем непрерывного мониторинга. Если интегральный показатель оказывается в интервале (13–20), то выключатель относится к третьей группе, и повышение их надёжности работы рекомендуется путём ежедневного осмотра с использованием сведений о «слабых звеньях». У выключателей четвёртой группы, интегральные показатели которых находятся в интервале (7–13), никаких дополнительных мер по обслуживанию выключателя не требуется [8].

Поскольку ежемесячное уточнение интегральных показателей для всего парка выключателей энергообъекта — задача трудоёмкая, подверженная субъективным ошибкам и сопряжённая с повышенным риском

ошибочного решения, была разработана подсистема автоматизированного планирования сроков и объёма восстановления износа. Здесь выделены два взаимосвязанных блока.



Рис.2. Рекомендации по техническому обслуживанию выключателей.

1. Планирование сроков восстановления износа. Блок планирования сроков формируется по данным межремонтных испытаний и включает уточнение распределения значимости базовых признаков для однотипных выключателей, оценку значимости базовых признаков и интегрального показателя конкретного выключателя, а также рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту каждого выключателя.

2. Определение объёма восстановления износа. Формируется по данным испытаний, проведённых перед плановым ремонтом, и устанавливается на основе результатов расчёта остаточного ресурса узлов выключателя: перечень выявленных дефектов и отказов в результате проведения аварийного ремонта, сведения о нерабочих состояниях и динамике изменения диагностических показателей выключателя, заключение о необходимом объёме восстановительных работ, а также оценка среднего остаточного срока службы и средней скорости износа узлов выключателя [9].

Результаты. Оценка качества восстановления износа складывается из двух составляющих:

- качества отремонтированного оборудования (характеризует техническое состояние выключателя после ремонта и его соответствие нормативно-технической документации);
- качества выполненных ремонтных работ (характеризует организационно-техническую дисциплину исполнителя).

Качество отремонтированного оборудо-

вания оценивается по трёхуровневой шкале:

- полное соответствие требованиям НТД;
- соответствие с ограничениями;
- несоответствие требованиям НТД.

Высшая оценка присваивается, если устранены все выявленные дефекты, выполнены требования НТД, а результаты приёмо-сдаточных испытаний свидетельствуют о непревышении диагностическими параметрами предельно допустимых значений. Вместе с тем такая формальная оценка не исключает возможность наличия после ремонта величины остаточного ресурса, недостаточного для нормальной работы в течение следующего межремонтного периода [10].

Для устранения этого противоречия предлагается уточнить оценку качества отремонтированного оборудования путём учёта минимально допустимого значения восстановления износа по i -му диагностическому параметру $\Delta I_{i,мд}$, где:

$$\Delta I_{i,мд} = T_{мр} \cdot vI_{zi} > I_{zi,д} - I_{zi,п}; i=1, m_{п} \quad (2)$$

vI_{zi} — скорость износа по i -му диагностическому параметру; $m_{п}$ — число диагностических параметров; $I_{зд}$ и $I_{зп}$ — соответственно величина износа до и после ремонта; $T_{мр}$ — межремонтный период.

Чтобы учесть $I_{зд}$ и $I_{зп}$, вводится уточнённая четырёхуровневая шкала оценок качества ремонта (K_p) оборудования. Будем считать:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{если } I_{зд} > 1, \text{ а } (1 - I_{п}) \geq \Delta I_{мд}, & \text{то } K_p = 4 \\ \text{или } (1 - I_{п}) < \Delta I_{мд}, & \text{то } K_p = 3 \\ \text{если } I_{зд} \leq 1, \text{ а } (1 - I_{п}) < \Delta I_{мд}, & \text{то } K_p = 2 \\ \text{или } I_{зд} \leq I_{п}, & \text{то } K_p = 1 \end{array} \right\}$$

Оценив качество ремонта по всем $i=1, m_{п}$ параметрам, можем строго оценить работу ремонтных служб и контролировать выполнение гарантийных обязательств.

Предлагается итоговую оценку качества ремонта выключателя в целом проводить по критерию:

$$\left. \begin{array}{l} K_{p,min} = \min\{K_{p,i}\}_{m_{п}} \\ \text{если } K_{p,min} \leq 2, \text{ то } K_{p,\Sigma} = 2, \\ \text{если } K_{p,min} > 2, \text{ то } K_{p,\Sigma} = m_{п}^{-1} \sum_{i=1}^{m_{п}} K_{p,i} \end{array} \right\}$$

где $m_{п}$ — число диагностических параметров

Следует отметить, что показатели качества отремонтированного оборудования контролируются по результатам приёмо-сдаточных испытаний выключателей и при испытаниях по завершении подконтрольной эксплуатации. Число контролируемых при этом параметров, как правило, включает показатели назначения, надёжности, безопасности, экологичности и эргономичности и может исчисляться десятками, что делает ручной расчёт крайне громоздким и трудоёмким.

Для решения этой задачи разработана система «Проверка качества ремонта и выполнения гарантированных обязательств», состоящая из двух взаимосвязанных подсистем. Первая — оценка технического состояния выключателя непосредственно после ремонта, включающая расчёт величины износа узлов и формирование заключения о качестве выполненных работ. Вторая — оценка соответствия технического состояния выключателя гарантийным обязательствам подрядчика, основанная на анализе динамики износа узлов в течение гарантийного периода эксплуатации (как правило, двух лет эксплуатации) и формировании итогового заключения о выполнении этих обязательств.

Обсуждение. Принципиальное различие между подсистемами состоит в моменте контроля. Оценка технического состояния выключателя после ремонта проводится после завершения подконтрольной эксплуатации, тогда как контроль гарантийных обязательств осуществляется по результатам измерений диагностических параметров спустя два года эксплуатации. Именно этот срок в большинстве случаев предусматривается для выполнения гарантированных обязательств по устранению возможных дефектов и отказов силами исполнителя ремонтных работ.

Дополнительным критерием обоснованности вывода выключателя в ремонт служит сопоставление фактического числа отключений тока K_3 пкз и наработки t с их допустимыми значениями. Необоснованный ремонт при $пкз < пкз_{доп}$ и $t < t_{доп}$ означает недоиспользование ресурса оборудования и приводит к неоправданным затратам.

При завершении периода действия

гарантированных обязательств подсистемой подготавливается документ, в соответствии с которым руководству предприятия представляется документ, отражающий имевшие место дефекты и отказы выключателя. Дефекты классифицируются по способу обнаружения: во время осмотров и при проведении межремонтных испытаний. К числу дефектов при этом относится и случай, когда остаточное время безотказной работы не превышает остаточное время межремонтного периода.

Межремонтный срок выключателя определяется из допустимой длительности работы и допустимого числа отключений короткого замыкания. Необоснованный вывод выключателей в ремонт при $n_{к.з.} < n_{к.з., доп.}$ и $t < t_{доп}$ связан с недоиспользованием возможностей выключателей и, следовательно, дополнительными, излишними затратами на ремонт.

В соответствии с характером процесса функционирования параметр потока отказов выключателя $\omega(t)$ целесообразно представлять в виде суммы трёх составляющих:

$$\omega(t) = \omega_0(t) + \omega_1(t, k) + \omega_2(t), \quad (5)$$

где $\omega_0(t)$ – составляющая, обусловленная воздействием внешних возмущающих факторов (атмосферные и коммутационные перенапряжения, некачественный ремонт и т.п.) и не зависящая от наработки; $\omega_1(t, k)$ – составляющая, обусловленная регулировкой выключателей вследствие отключений КЗ (при интенсивных КЗ доминирует именно эта составляющая, а при их отсутствии обращается в нуль); $\omega_2(t)$ – составляющая, обусловленная старением элементов выключателей и разрегулировкой при длительной эксплуатации (износ прокладок и т.д.).

Исследования возмущающих факторов позволяют прогнозировать возможность возникновения отказов выключателей и разработать соответствующие мероприятия. Независимость воздействия возмущений от длительности эксплуатации выключателей свидетельствует о независимости $\omega_0(t)$ и T .

Соотношение величин $\omega_1(t, k)$ и $\omega_2(t)$

определяется интенсивностью повреждения присоединений. При частых коротких замыканиях $\omega_1(t, k) \gg \omega_2(t)$, а при отсутствии коротких замыканий $\omega_1(t, k) = 0$. Анализ результатов ремонтных работ позволяет выявить наиболее ненадёжные элементы, выработать мероприятия по целенаправленному усилению этих элементов и тем самым уменьшить величину $\omega_2(t)$, увеличивая длительность межремонтного периода.

Заключения. В работе предложена комплексная методология интеллектуального анализа технического состояния высоковольтных выключателей, основанная на оценке скорости износа и расчёте интегрального показателя значимости.

Разработанный алгоритм ранжирования позволяет объективно выделить наиболее ответственные и изношенные выключатели, требующие немедленного вмешательства, что существенно снижает риск перерастания локальных дефектов в системные аварии.

Предложен формальный критерий оценки качества восстановления износа, учитывающий реальную динамику изменения диагностических параметров, что повышает ответственность ремонтных служб и гарантирует заданный уровень безотказности.

Разработанная система информационной и методической поддержки персонала позволяет автоматизировать процесс планирования ремонтов, снизить субъективность и, как следствие, минимизировать эксплуатационные затраты.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются интеграция методов искусственного интеллекта для прогнозирования остаточного ресурса и разработка цифровых двойников выключателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Фархадзаде, Э. М., Мурадалиев, А. З., & Рафиева, Т. К. (2006). Учет остаточного износа конструктивных материалов электрооборудования. Экоэнергетика, (1), 22–24.

- [2] Рафиева, Т. К., & Абдуллаева, С. А. (2013). Автоматизированный контроль технического состояния выключателей распределительных устройств энергосистемы. Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики: Международный научный семинар им. Ю. Н. Руденко, 63, 506–513.
- [3] Китушин, В. Г., & Перминов, А. Ю. (1999). Модель остаточного ресурса агрегата. В Н. И. Воропай (Ред.), Надёжность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы (с. 381–386). Наука, Сибирское отделение РАН.
- [4] Фархадзаде, Э. М., Мурадалиев, А. З., Рафиева, Т. К., & Абдуллаева, С. А. (2014). Автоматизированный анализ парка выключателей. Энергетик, (5), 11–13.
- [5] Фархадзаде, Э. М., & Мурадалиев, А. З. (2012). Информационная поддержка эксплуатационного контроля и ремонта трансформаторного оборудования в энергосистеме. Энергетик, (10), 7–10.
- [6] Сорокин, А. С., Коваленко, А. И., Малютин, М. С., Лебедев, А. А., & Султанов, М. М. (2024). Алгоритм автоматизированной оценки технического состояния высоковольтного элегазового выключателя по ограниченному набору данных. Электрические станции, (1), 40–45.
- [7] Farhadzadeh, E. M., Farzaliyev, Y. Z., & Muradaliyev, A. Z. (2013). Principles of classification statistical data about reliability of the electric equipment of power supply systems. Reliability: Theory & Applications, 8(3/30), 56–74.
- [8] Фархадзаде, Э. М., Мурадалиев, А. З., Абдуллаева, С. А., & Ашурова, У. К. (2020). Классификация интегральных показателей оперативной эффективности работы объектов ЭЭС. Надёжность и безопасность энергетики, 13(3), 218–224. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-3-218-224>
- [9] Чичёв, С. И., Калинин, В. Ф., & Глинкин, Е. И. (2011). Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций: Монография.
- [10] Михеев, Г. М. (2019). Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования. Профобразование.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Абдуллаева, С. А., & Джаббаров, Т. Г. (2026). Повышение надёжности высоковольтных выключателей через интеллектуальный мониторинг технического состояния. Цифровые технологии в промышленности, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.23>
