

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

УДК 621.019

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОСА КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Абдуллаева С.А.

Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский
Институт Энергетики
Аз1012, г. Баку, пр. Г.Зардаби, 94
E-mail: samira.afqan@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования определяется критическим состоянием парка высоковольтных выключателей в современных энергосистемах. Статистические данные свидетельствуют, что свыше 60% эксплуатируемого оборудования превысило проектный срок службы, создавая реальные угрозы надежности электроснабжения. В этой связи особую значимость приобретает совершенствование систем технического обслуживания и восстановления износа коммутационных устройств на основе внедрения интеллектуальных систем мониторинга. Разработка адаптивных систем диагностики и прогнозирования остаточного ресурса становится не только технической, но и стратегической задачей, решение которой будет определять устойчивость энергетической инфраструктуры в ближайшей перспективе.

Xülasə. Tədqiqatın aktuallığı müasir enerji sistemlərində yüksəkgərginlikli açarlar parkının kritik vəziyyəti ilə müəyyən edilir. Statistika göstərir ki, istismarda olan avadanlığın 60%-dən çoxu xidmət müddətini keçib və enerji təchizatının etibarlılığına real təhlükə yaradır. Bununla əlaqədar olaraq, kommutasiya qurğularının texniki xidmət və aşınmanın bərpası sistemlərinin intellektual monitoring sistemlərinin tətbiqi əsasında təkmilləşdirilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Qalıq xidmət müddətinin diaqnostikası və proqnozlaşdırılması üçün adaptiv sistemlərin inkişafı təkə texniki deyil, həm də strateji vəzifəyə çevrilir ki, onun həlli yaxın gələcəkdə enerji infrastrukturunun dayanıqlığını müəyyən edəcək.

Abstract. The relevance of the study is determined by the critical condition of the high-voltage circuit breaker fleet in modern power systems. Statistical data indicate that over 60% of the equipment in operation has exceeded its design service life, creating real threats to the reliability of power supply. In this regard, the improvement of maintenance and wear recovery systems for switching devices based on the introduction of intelligent monitoring systems is of particular importance. The development of adaptive systems for the diagnosis and prognosis of remaining service life is becoming not only a technical but also a strategic task, the solution of which will determine the sustainability of energy infrastructure in the near future.

Ключевые слова: высоковольтный выключатель, техническое состояние, диагностика, износ, остаточный ресурс, интеллектуальная система, долговечность

Açar sözlər: yüksək gərginlikli açar, texniki vəziyyət, diaqnostika, aşınma, qalıq resurs, intellektual sistem, uzun ömürlülük

Key words: high-voltage circuit breaker, technical condition, diagnostics, wear, remaining service life, intelligent system, durability

Введение. В условиях массового старения оборудования особую актуальность приобретает цифровая трансформация процессов технического обслуживания и ремонта, основанная на внедрении интеллектуальных систем мониторинга и предиктивной аналитики. **Основным направлением** решения данной проблемы является разработка интеллектуальных информационных систем (ИИС) анализа надежности выключателей, позволяющих повысить точность оценки остаточного ресурса оборудования [1]. **Ключевой особенностью** предлагаемого подхода является комплексное использование информации о техническом состоянии выключателей, получаемой от стационарных и переносных диагностических систем, а также данных плановых испытаний [2].

Методология исследования включает разработку модели оценки остаточного ресурса выключателей, основанную на анализе: расхода коммутационного ресурса при отключении токов короткого замыкания; изменения показателей износа узлов под воздействием механических, электрических и тепловых факторов. **Автоматизированная система анализа** обеспечивает: мониторинг текущего технического состояния; оценку динамики износа узлов аппаратуры; оптимизацию сроков и объемов диагностических мероприятий; сравнительный анализ методов испытаний. Предложены практические решения по созданию интеллектуальной системы диагностики, математическому моделированию процессов износа и оптимизации ремонтных интервалов.

Структура и принципы функционирования интеллектуальной информационной системы. Высоковольтный выключатель - представляет собой сложное электромеханическое устройство, выполняющее критически важные функции в энергосистемах: оперативное отключение питания при аварийных ситуациях, защиту дорогостоящего энергооборудования и сохранение целостности линий электропередачи. Ключевым аспектом эксплуатации таких устройств является определение их остаточного ресурса и прогнозирование количества оставшихся рабочих циклов. От надежности высоковольтных выключателей напрямую зависит стабильность электроснабжения различных объектов - от промышленных предприятий до удаленных населенных пунктов.

Проблема эффективного управления эксплуатацией электрооборудования, выработавшего нормативный ресурс, приобретает особую значимость в современных условиях. Это обусловлено одновременным действием двух факторов: постоянным увеличением объема оборудования, превысившего проектный срок службы, и необходимостью оптимизации эксплуатационных расходов.

Для решения указанных задач требуется совершенствование автоматизированных систем мониторинга и методов контроля технического состояния электроустановок. Необходимо создание комплексной системы информационно-методической поддержки технического персонала, обеспечивающей:

- интеграцию ретроспективных и текущих данных о состоянии оборудования;
- учет реальных условий эксплуатации и рабочих режимов;
- фиксацию всех эксплуатационных событий без искажения первичной информации;
- точную классификацию причин отказов и повреждений;
- оценку последствий и ущерба от аварийных ситуаций;
- постоянное повышение достоверности и полноты данных;
- минимизацию влияния субъективного человеческого фактора.

Цель создания интеллектуальной информационной системы, заключается в возможности предотвращения отказов выключателей в будущем, исходя из его фактического технического состояния. Поэтому система должна обеспечивать простоту использования, поскольку избыточная сложность может негативно повлиять на ее практическую эффективность.

Интеллектуальная информационная система разработана для оперативно-технического персонала и состоит из взаимосвязанных подсистем (программных комплексов), в основу которых положено единое информационно-техническое обеспечение, отражающее специфику их функционирования, и реализует следующие функции:

- информация о техническом состоянии электроустановок; сбор и кодирование информации (паспортной, технической, событийной);
- контроль достоверности информации на входе;
- диалоговый режим с помощью основных и вспомогательных меню;
- расчет и анализ эксплуатационной надежности оборудования и выдача результатов;
- повышение остаточного срока службы оборудования.

Разработка и внедрение в эксплуатацию указанных программных комплексов обеспечивает создание информационной базы данных, решение задач управления техническим состоянием коммутационного оборудования и, в конечном счете, в повышении культуры производства.

Внедрение системы обеспечивает достижения следующих преимуществ:

- снижение затрат на проведение ремонтно-технического обслуживания, улучшение качества ремонтов и сокращение их продолжительности за счет предварительного анализа фактического состояния оборудования и оптимизации ремонтных периодов;
- снижение аварийности работы оборудования за счет предотвращения отказов, связанных с возникновением и развитием неисправностей в работе оборудования;
- сокращение числа и длительности вынужденных простоев, связанных с внеплановыми ремонтами;
- повышение производительности труда и культуры обслуживания.

Оценка целесообразности непрерывной диагностики технического состояния высоковольтных выключателей. Каждое новое оборудование располагает приблизительно одинаковым механическим и коммутационным ресурсом. Однако со временем происходит неравномерное ухудшение эксплуатационных характеристик, снижается их надежность работы. Интеллектуальная оценка остаточного ресурса высоковольтных выключателей превращает их из «черных ящиков» в предсказуемые и управляемые активы, открывая новое в вопросах надежности и экономичности [3].

По своему назначению высоковольтные выключатели подразделяются на линейные, блочные трансформаторные и т.д. Частота коммутаций этих выключателей различна. Чем больше мощность отключаемого *короткого замыкания* (к.з.) и чем чаще коммутации, тем большему износу подвергается контактная система выключателя.

Наряду с периодически проводимыми профилактическими испытаниями высоковольтные выключатели оборудованы специализированными стационарными или переносными системами мониторинга технического состояния выключателей. Системы стационарного мониторинга технического состояния выключателей являются весьма дорогостоящими. и, как правило, устанавливают на особо ответственных выключателях.

Опыт эксплуатации показывает, что непрерывная диагностика технического состояния выключателей переносными устройствами целесообразна при превышении остаточного интервала межремонтного периода остаточной длительности безотказной работы. Поэтому на практике возникает необходимость определить перечень выключателей, для которых контроль коммутационной способности с использованием переносных систем контроля целесообразен.

Оценка остаточного коммутационного ресурса выключателей. Остаточный ресурс — это многомерный показатель и оценить его можно по трем основным направлениям (рисунки 1):

- **коммутационный ресурс** (электрическая «выносливость») - износ дугогасительных контактов. Учитывается не просто количество операций, а их *тяжесть* (отключение токов короткого замыкания, тип нагрузки).
- **механический ресурс** (физическая «усталость») - износ механизмов привода, пружин, соединений, **количество операций**. Рассчитывается на основе данных о количестве операций и сравнении с паспортным механическим ресурсом.
- **диэлектрический ресурс** (электрическая «иммунная система») – **оценивается по данным мониторинга** состояния изоляции, эрозии контактов, качества SF6 газа, **уровня частичных разрядов**.

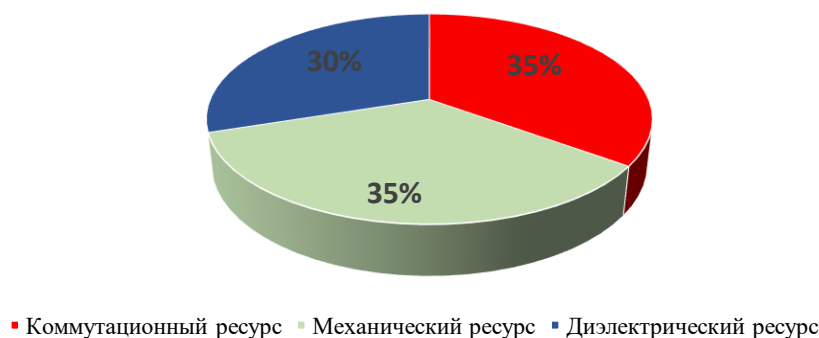


Рисунок 1. Остаточный ресурс и три направления

Оценка остаточного ресурса — это больше, чем просто технология, это новая философия управления критической энергетической инфраструктурой. Этот подход трансформирует принятие решений, основанных на:

- Принятии решений на основе данных- каждый эксплуатационный шаг аргументирован фактическим техническим состоянием оборудования.
- Оптимальном инвестировании- перераспределение капитальных затрат и бюджета на ремонт исходя из реальной потребности активов.
- Гарантии надежности- обеспечение потребителей стабильным и предсказуемым энерго-снабжением.

Дальнейшее исследование фокусируется на количественной оценке *показателей долговечности* (ПД) узлов коммутационных аппаратов. Поскольку износ происходит в результате дискретных воздействий, эти оценки имеют самостоятельное значение, позволяя точно определить степень износа и величину остаточного времени безотказной работы [4]. Учитывая случайный характер дискретных воздействий, разработанные модели служат основой имитационного моделирования процесса износа с целью характеристики точности показателя [5].

Вопросы оценки показателей долговечности рассмотрим для ряда моделей износа [6]:

1. Имеет место нерегулярный поток с заранее известными интервалами между воздействиями (Δt). Если задано допустимое число детерминированных воздействий $N_{\text{доп.}}$, то величина износа в момент t равна:

$$I_z(t) = \delta N(t) = \frac{t}{\Delta t \cdot N_{\text{доп.}}}$$

величина остаточного ресурса $Re(t) = 1 - I_z(t)$, а интервал времени до предстоящего планового ремонта – произведению ($N_{\text{доп.}} \cdot \Delta t$).

2. Имеет место однородный пуассоновский поток, т.е. ординарный, стационарный и без последствия регулярный поток. Вероятность возникновения N воздействий за время t определяется по известной формуле:

$$P(N, t) = \frac{(wt)^N}{N!} e^{-wt},$$

а функция распределения вероятности износа величиной N_t имеет вид:

$$P(N_t \leq N) = F_N(N, t) = \sum_{i=1}^N P(i, t) \quad (1)$$

Показатели долговечности этой модели вычисляются следующим образом:

- *Средний износ:*

$$M^*[Iz(t)] = M^*(\delta N) = \frac{w^* t}{N_{\text{доп}}},$$

где w^* - оценка интенсивности воздействия; нижнее и верхнее граничные значения доверительного интервала износа равны соответственно

$$\frac{\delta N_{(1-R)}}{\delta N_R} = \frac{w_{(1-R)} \cdot t}{N_{\text{доп}}},$$

$$\frac{\delta N_R}{\delta N_{(1-R)}} = \frac{w_R \cdot t}{N_{\text{доп}}}.$$

где $R = \nu/2$, а ν - уровень значимости.

Функция распределения вычисляется по формуле (1).

- *Остаточный ресурс $Re(t)$:* Величина $Re(t)$ может быть вычислена непосредственно по данным с п.1. Функция распределения остаточного ресурса

$$F[Re(t)] = 1 - F[Iz(t)]$$

- Интервал времени до *предстоящего планового ремонта* (T_d):
– среднее значение

$$M^*(T_d) = \frac{N_{\text{доп}}}{w^*}$$

- нижнее и верхнее граничные значения доверительного интервала равны соответственно

$$\frac{T_{d,(1-R)}}{T_{d,(1-R)}} = \frac{N_{\text{доп}}}{w_R}$$

$$\frac{T_{d,(1-R)}}{T_{d,(1-R)}} = \frac{N_{\text{доп}}}{w_{(1-R)}} \quad (2)$$

Функция распределения $F(T_d)$ соответствует $F[Re(t)]$ при условии, что $N=N_{\text{доп}}$ и $t=T_d$, рассчитывается по формуле:

$$F(T_d) = 1 - \sum_{i=1}^{N_{\text{доп}}} \frac{(wT_d)^i}{i!} e^{-wT_d} \quad (3)$$

Распределение $F(T_d)$ известно, как *распределение Эрланга*.

- Остаточный срок службы до предстоящего планового ремонта (ΔT_d): вычисляются по формулам (2) и (3) с заменой T_d на величину $T_d = t_i + \Delta T_d$, где t_i - срок службы, для которого рассчитывается ΔT_d .

3. Как было отмечено выше, поток воздействий на выключатель неординарный и неоднородный. Свойство ординарности нарушается возможностями автоматического и ручного повторного включения, а требование однородности –различием отключаемых токов короткого замыкания. Можно предположить, что суммарный износ в результате многократных (n) единичных воздействий равен сумме износов единичных воздействий, а «тяжесть» последствий единичных воздействий можно представить рядом дискретных значений. В этом случае, при выполнении требования стационарности неординарный и неоднородный поток может быть рассмотрен как сумма независимых однородных пуассоновских потоков.

4. Величина интенсивности потока воздействий (w) не всегда постоянна. В частности, величина интенсивности потока воздействий *воздушных линий* (ВЛ), ($w_{\text{л}}$) зависит от целого ряда факторов, которые проявляются в различные времена года (грозовая деятельность, гололедообразование, соленые морские туманы и пр.) и по годам. Эта зависимость обычно имеет место, если исполнение ВЛ или ее техническое состояние (наличие «нулевых» изоляторов, коррозия тросов, дефекты соединения и пр.) не соответствуют интенсивности воздействующих факторов. Такой поток воздействий называют *пуассоновским потоком* с переменным параметром. Согласно [7]:

$$F(N, t) = \sum_{i=1}^N \frac{[\int_0^t w(t) dt]^i}{i!} e^{-\int_0^t w(t) dt} \quad (4)$$

Наиболее эффективной формой повышения надежности выключателей является повышение эффективности ремонтно-технического обслуживания, своевременный планово-восстановительный ремонт, в частности ремонт по техническому состоянию. Техническое состояние выключателей устанавливается по величине *диагностических показателей* (ДП), характеризующие электрические, тепловые, механические и иные свойства отдельных узлов выключателей. Результаты измерения диагностических показателей сопоставляются с нормативными значениями, и выносится заключение о соответствии или несоответствии технического состояния выключателей предъявляемым требованиям.

Однако, при этом не решается вопрос о безотказности выключателей в предстоящий межремонтный период, т.к. не определяются показатели долговечности, такие как: *остаточный ресурс выключателей, остаточный срок службы и не превышение длительности межремонтного периода*.

Опыт эксплуатации показывает, что, при проведении ремонтных работ полностью восстановить износ без замены элементов на новые невозможно. Несмотря на то, что после планового ремонта величина N принимается равным нулю, элементы выключателей содержат некоторый неустраняемый износ, обусловленный изменением свойств материала. Остаточный износ в течение срока службы элемента тем больше, чем больше предшествовало воздействий и чем «тяжесть» этих воздействий была больше. При эксплуатации выключателей, соглашаясь с наличием остаточного износа (элементы не новые), тем не менее, принимается предположение о неизменности $N_{\text{доп}}$.

Различают три разновидности процессов дискретного износа для однотипных воздействий. Опыт эксплуатации показывает, что для элементов выключателей *постоянная* величина изменения износа наблюдается на элементах, износ которых не превышает регламентируемых заводом-изготовителем значений (в виде предельных значений диагностических показателей).

Для ряда ДП наблюдается *уменьшение* величины приращения износа, т.е. износ каждого последующего воздействия в момент t_2 [$\Delta I_z(t_2)$] меньше износа от предыдущего воздействия $\Delta I_z(t_1)$, т.е. $\Delta I_z(t_1) > \Delta I_z(t_2)$, где t_1 и t_2 – моменты возникновения дискретных воздействий, $t_2 > t_1$. Это обуславливается тем, что элементы «приспосабливаются» к условиям работы и проявляется, как правило, после плановых ремонтов.

Наиболее опасны для оборудования условия, когда износ каждого последующего воздействия превышает износ от предыдущего воздействия, т.е. приращение износа возрастает $\Delta I_z(t_1) < \Delta I_z(t_2)$, где $t_2 > t_1$. Этот процесс именуется *катастрофическим износом* и имеет место при эксплуатации выключателей, техническое состояние которых не удовлетворяет предъявляемым требованиям (диагностические показатели превышают допустимые значения).

Главной задачей эксплуатации электроустановок является повышение качества проводимых плановых ремонтов и предотвращение катастрофического износа. В связи, с выше-

изложенным, можно заключить, что увеличение остаточного износа приводит к уменьшению фактического значения допустимого числа дискретных воздействий $N_{\text{доп}}$ и, соответственно, к увеличению числа дискретных воздействий, ведущих к катастрофическому износу и росту вероятности аварийного повреждения элемента и выключателя в целом.

Таким образом, оценка технического состояния по условию не превышения числа воздействий (приведенных к единичному повреждению) допустимой величины $N_{\text{доп}}$, для элементов, срок службы которых приближается к расчетному ($T_{\text{доп.р}}$), а тем более превышающих его, может привести к увеличению числа отказов. Оценка показателей долговечности элементов, с $T_d \geq T_{\text{доп.р}}$ наиболее просто может быть выполнена путем снижения $N_{\text{доп}}$ до величины, отражающей остаточный износ элемента.

Алгоритм расчета показателей долговечности можно представить следующим образом:

1. Проводится измерение диагностических показателей оборудования в момент t_k через интервал $\Delta t = t_k - t_p$ где t_p – момент окончания ремонта. Величина Δt выбирается исходя из двух условий. Чем Δt больше, тем больше число воздействий N и тем точнее результаты расчетов среднего износа при одном воздействии для заданного срока службы элемента. Рекомендуется Δt выбирать таким, чтобы $N_0(\Delta t) = (0,4-0,6)N_{\text{доп}}$. Обозначим множество этих диагностических показателей через $P_i(t_k)$, где i – номер диагностического показателя.

2. Вычисляется величина износа по каждому ДП

$$I_z(P_i, t_k) = \frac{P_i(t_k) - P_i(t_p)}{P_{\text{доп}} - P_0}, \quad (5)$$

где P_0 – исходное значение i -го диагностического показателя

3. Определяется число единичных воздействий в течение интервала Δt_n

$$N_0(\Delta t) = \sum_{i=1}^n \frac{N_{0,i}(\Delta t)}{\mu_{1,i}}, \quad (6)$$

где $N_{0,i}(\Delta t)$ – наблюдаемое за интервал число воздействий i -го типа; n – число однотипных воздействий; $\mu_{1,i}$ – относительная тяжесть воздействия, равная отношению $N_{\text{доп}}/N_{\text{доп},i}$; $N_{\text{доп},i}$ – допустимое число воздействий i -го типа

4. Вычисляется величина изменения износа на одно единичное воздействие по формуле:

$$\Delta I_z(P_i, t_k) = \frac{I_z(P_i, t_k)}{N_0(\Delta t)} \quad (7)$$

5. Определяется расчетное значение допустимого числа единичных воздействий ($N_{\text{доп},i}$)

$$N_{\text{доп},i}^* = \frac{1}{\Delta I_z(P_i, t_k)}, \quad (8)$$

где $i=1, n$, n – число показателей

6. Определяется величина остаточного ресурса по числу элементарных воздействий для каждого ДП

$$Re(N_i) = \frac{N_{\text{доп},i} - N_0(\Delta t)}{N_{\text{доп},i}^*} \quad (9)$$

7. Определяется остаточный ресурс оборудования исходя из условия:

$$Re(N) = \min[Re(N_1), Re(N_2), \dots, Re(N_n)] \quad (10)$$

Для энергосистемы, стоящей на пороге новой эры Smart Grid, **активно-адаптивной сети** и увеличения доли возобновляемой энергии, надежность коммутационных аппаратов, становится вопросом **энергетической безопасности**.

Выгоды от непрерывной диагностики носят не только операционный, но и стратегический характер, от безотказности к предсказуемости.

1. Предотвращение катастрофических убытков (очевидная выгода). Непрерывная диагностика позволяет предсказать и предотвратить до 90% внезапных отказов.

2. Оптимизация эксплуатационных расходов (скрытая выгода).

- обслуживание по техническому состоянию и **сокращение плановых ремонтов**: Ремонт не по графику, а по фактическому состоянию. Ремонт и техническое обслуживание назначаются тогда, когда диагностика и модель остаточного ресурса показывают приближение к критическому порогу. Это экономия на трудозатратах, материалах и простое оборудования.
- прогнозированию надежности: моделирование различных сценариев нагрузок и аварий, выявляя слабые звенья.
- оптимизации инвестиций: точно понимать, какие выключатели требуют замены в следующем году, а какие прослужат еще 10 лет, что позволяет оптимально распределять бюджет.
- **оптимизация** потребности в запасных частях, инструментах и принадлежностях снижает затраты на складские запасы.
- **увеличение срока службы оборудования**: Щадящий режим работы и своевременное устранение мелких неисправностей продлевают жизнь выключателя на 15-20%.

3. Повышение кибербезопасности и управления активами. Закладывает основы для интеллектуальной, самовосстанавливающейся сети будущего.

4. Повышает устойчивость всей энергосистемы.

Выводы. Ключевым фактором повышения эксплуатационной эффективности является комплексная методическая поддержка персонала, обеспечивающая: снижение рисков ошибочных решений при оценке технического состояния оборудования; оптимизацию затрат на техническое обслуживание и ремонты; повышение общих показателей надежности энергосистемы. Инструментарий поддержки включает: выявление критических узлов и анализ причин деградации технических характеристик; систему ранжирования выключателей по уровню надежности; методики оценки качества восстановления износа и консервации оборудования; критерии определения оптимальных сроков и объемов ремонтных работ. Разработан метод и алгоритм оценки остаточного коммутационного ресурса выключателей. Он основан на совместном использовании информации об износе при отключении к.з. и износе, вытекающем из изменения диагностических параметров. Так же разработан метод планирования сроков и объема восстановления износа. Методология основана на оценке интегрального показателя, по разновидностям базовых признаков, учитывающих надёжность и экономичность эксплуатации выключателей.

Таким образом, создаётся возможность ранжирования выключателей, а классификация их по группам позволяет выявить выключатели, которые: должны быть немедленно отключены для восстановления износа; рекомендуются в ближайшее время отключить по аварийной заявке и устранить дефекты; необходимо оснастить переносными устройствами непрерывного контроля технического состояния; не требуют специальных мер по восстановлению износа.

Литература

1. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Рафиева Т.К. Учет остаточного износа конструктивных материалов электрооборудования. Баку, Экоэнергетика, №1, 2006 г., с.22-24.
2. Рафиева Т.К., Абдуллаева С.А. Автоматизированный контроль технического состояния выключателей распределительных устройств энергосистемы. Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко. Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики. Вып.63, г. Баку, 2013г., с. 506-513.

3. Мурадалиев А.З., Рафиева Т.К., Абдуллаева С.А. Метод оценки целесообразности непрерывной диагностики технического состояния высоковольтных выключателей. Материалы международной научной конференции «Современные научно-технические и прикладные проблемы энергетики». 27-28 октября 2015 г. Сумгаит, Азербайджан.
4. Мурадалиев А.З., Рафиева Т.К., Абдуллаева С.А. Метод оценки целесообразности непрерывной диагностики технического состояния высоковольтных выключателей. Материалы международной научной конференции «Современные научно-технические и прикладные проблемы энергетики». 27-28 октября 2015 г. Сумгаит, Азербайджан.
5. Ситников В.Ф., Скопинцев В.А. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации // Электричество № 11, 2007 г.
6. Сафарова Т.Х., Абдуллаева С.А. Модели для оценки остаточного ресурса выключателей. Баку, Проблемы Энергетики №2-3, 2008, с. 38-41.
7. Фархадзаде Э.М., Абдуллаева С.А. Модели для оценки показателей долговечности элементов электроустановок при дискретных воздействиях. Международный Конгресс «Энергетика. Экология. Экономика», г. Баку, 2007г.

Məqalə qəbul olunub: 30.10.25
Təvsiyə edib: dos. Sultanov E.F.