

## Метод и алгоритм прогнозирования опасности технического состояния объектов электроэнергетических систем

ФАРХАДЗАДЕ Э.М., МУРАДАЛИЕВ А.З., ИСМАИЛОВА С.М., ЮСИФЛИ Р.Ф.

*Представлены разработанные методы и алгоритмы прогнозирования момента возникновения опасного технического состояния объекта по множеству реализаций диагностических показателей однотипных объектов. Эти методы позволяют преодолеть ряд трудностей, сопутствующих оценкам показателем безопасности объектов. А именно, случайный характер величины износа и скорости его изменения, многомерный характер реализаций диагностических параметров, громоздкость и трудоемкость ручного счета. Последнее преодолевается применением компьютерных технологий как подсистемы интеллектуального автоматизированного управления техническим состоянием. Многомерный и случайный характер реализаций диагностических параметров обуславливает целесообразность применения фидуциального подхода. Одной из основных эксплуатационных задач является выявление «слабых звеньев» объектов, т.е. узлов, определяющих безопасность объекта в целом. Остаточный срок службы до возникновения опасного технического состояния может быть рассчитан вручную – методом по экспериментальной формуле аналитической взаимосвязи между критическим значением остаточного срока службы, числом реализаций и уровнем значимости. Эти данные, в свою очередь, позволяют охарактеризовать техническое состояние объекта в пятибалльной системе и уточнить стратегию технического обслуживания. Разработаны механизм формирования и выходные формы конкретных рекомендаций по предотвращению перехода объекта в опасное состояние.*

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** электроэнергетические системы, техническое состояние, многомерные данные, фидуциальный подход, имитационное моделирование, алгоритм

Современное состояние электроэнергетических систем (ЭЭС) характеризуется двумя противодействующими тенденциями. С одной стороны, наблюдается повышение эффективности работы оборудования и устройств (объектов), ввод в эксплуатацию современных электростанций, совершенствование автоматизированного управления [1]. А с другой стороны – наблюдается систематическое увеличение стоимости топлива, снижение квалификации персонала, увеличение относительного числа объектов, неустранимый износ которых обуславливает снижение эффективности (надежности, экономичности и безопасности) их работы, возникновение опасности системных аварий [2]. И если пожелания снижения стоимости топлива и возможности массовой замены объектов, срок службы которых превышает расчетный, на новые объекты из-за отсутствия средств оказываются безнадежными, то совершенствование методов обеспечения эффективности работы таких объектов не только возможно и необходимо, но и в меру сил реализуется на практике.

При этом многие эксплуатационные задачи решаются интуитивно, на основе опыта эксплуатации, а объективность решения этих задач определяется квалификацией персонала. Здесь серьезным

препятствием служит не только снижение квалификации персонала, но и отсутствие опыта работы со стареющим оборудованием, и соответствующих методических рекомендаций. И если вопросы количественной оценки безотказности, ремонтпригодности и долговечности, как и вопросы экономичности работы, во многом решены, то вопросы количественной оценки безопасности работы требуют своего решения.

Следует отметить, что и количественная оценка отдельных свойств эффективности работы объектов еще далеко недостаточна из-за того, что отсутствуют соответствующие критерии сравнения этих количественных оценок. А если мы не умеем грамотно сравнивать оценки множества случайных величин, то и не можем объективно определить значимые факторы (разновидности признаков), оценить безопасность конкретных объектов, ранжировать их в порядке повышения безопасности работы и тем самым классифицировать множество однотипных объектов на группы (кластеры), отличающиеся особенностями технического обслуживания и восстановления износа.

Трудности количественной оценки и сравнения безопасности работы объектов ЭЭС обуславливаются именно их многомерным характером и необ-

ходимостью оперирования нечисловыми ретроспективными данными [3]. Именно поэтому возможность прогнозирования возникновения опасного технического состояния объекта ЭЭС вследствие выработки ресурса не только желательна, но и необходима.

**Условия возникновения опасности.** Техногенные опасности могут возникнуть мгновенно или постепенно в результате старения. Мгновенный характер возникновения опасности во многих случаях, по сути, обусловлен износом и воспринимается как мгновенный в связи с отсутствием мониторинга технического состояния по ряду факторов. Будем различать три типа мониторинга. Прежде всего следует различать непрерывный и дискретный мониторинг. Непрерывный мониторинг осуществляется двойкой: стационарными и переносными устройствами, а дискретный проводится с утвержденной руководством энергосистемы периодичностью. В основе дискретного мониторинга технического состояния объектов ЭЭС конечно же находятся документы [4, 5].

Каждый из типов мониторинга имеет свои преимущества и недостатки. Основными преимуществами непрерывного мониторинга являются резкое снижение влияния «человеческого фактора» и мобильность, а недостатками – высокая стоимость и существенно меньшее, по сравнению с дискретным мониторингом, число контролируемых диагностических параметров (ДП).

Традиционно в ЭЭС контроль технического состояния объектов проводится при сопоставлении результата измерения ДП с нормативным значением. При этом не учитывается ни остаточный ресурс, ни скорость изменения износа.

**Метод и алгоритм прогнозирования возникновения опасности технического состояния объектов по диагностическому параметру.** Условимся обозначать произвольный ДП « $\Pi$ », а его количественную оценку при контроле ( $k$ ) по данным проведенных измерений в момент  $t_k$  как  $\Pi(t_k)$ . Количественную оценку этого ДП по данным измерения после очередного капитального ремонта или при вводе объекта в эксплуатацию обозначим как  $\Pi(t_0)$ , а предельно допустимое (нормативное) значение этого ДП – как  $\Pi_{\text{доп}}$ . Формула расчета относительного значения ухудшения ДП, которое назовем «износом», зависит от взаимосвязи характера изменения технического состояния объекта и изменения ДП. Если с увеличением  $\Pi(t)$  техническое состояние объекта ухудшается, то значение износа вычисляется по [6]:

$$\text{Iz}[\Pi(t_k)] = \frac{\Pi(t_k) - \Pi(t_0)}{\Pi_{\text{доп}} - \Pi(t_0)} \quad (1)$$

Снижение  $\Pi(t)$  в результате планового или аварийного ремонта назовем «восстановлением износа».

Если же техническое состояние объекта ухудшается с уменьшением  $\Pi(t)$ , то

$$\text{Iz}[\Pi(t_k)] = \frac{\Pi(t_0) - \Pi(t_k)}{\Pi(t_0) - \Pi_{\text{доп}}} \quad (2)$$

Нетрудно заметить, что формулы (1) и (2) идентичны. Их различие обуславливается соотношением  $\Pi(t_0)$  и  $\Pi_{\text{доп}}$  для формулы (1)  $\Pi(t_0) < \Pi_{\text{доп}}$ , а для (2) –  $\Pi(t_0) > \Pi_{\text{доп}}$ .

В обоих случаях значение  $\text{Re}[\Pi(t_k)] = 1 - \text{Iz}[\Pi(t_k)]$  назовем «остаточным ресурсом». Исходный ресурс принимаем равным единице:  $\text{Re}[\Pi(t_0)] = 1$ . Графически значение износа показано на рис. 1.

Наглядными примерами рассмотренных закономерностей изменения  $\Pi(t)$  являются изменения сопротивления контактов и сопротивления изоляции. Чем сопротивление контактов больше, тем больше их нагрев, который, в свою очередь, вызывает дальнейшее увеличение сопротивления.

Уменьшение сопротивления изоляции приводит к увеличению тока утечки и дополнительным потерям, нагреву и увеличению вероятности пробоя при всплесках напряжения.

Значение износа зависит от большого числа факторов, и в течение заданного интервала времени даже для одинаковых объектов, расположенных

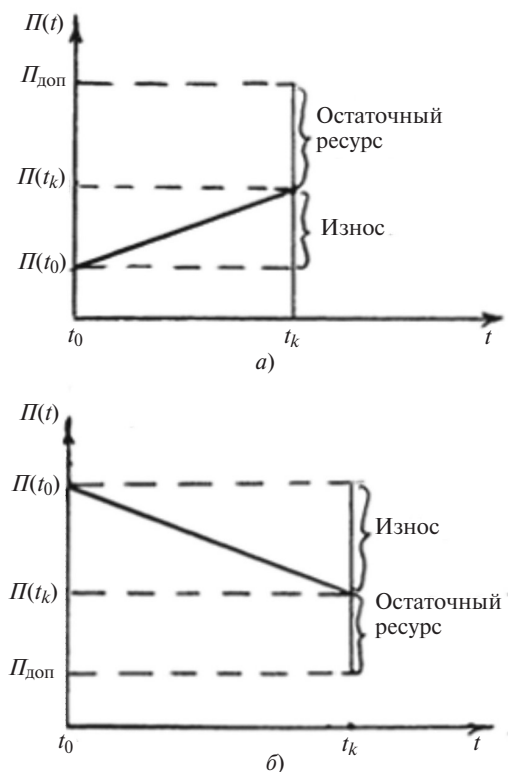


Рис. 1. Графическая иллюстрация ухудшения технического состояния объекта: а –  $\Pi(t_0) < \Pi_{\text{доп}}$ ; б –  $\Pi(t_0) > \Pi_{\text{доп}}$

на различных подстанциях, и более того, для различных фаз объекта, износ будет разным, т.е. значение износа случайно. Обозначим скорости изменения ДП как

$$v[\Pi(t_k)] = I_z[\Pi(t_k)] / (t_k - t_0 - T_{\Pi}), \quad (3)$$

где  $T_{\Pi}$  – длительность вынужденного простоя объекта.

В формуле (3) предлагается линейный характер изменения износа на интервале  $[\Pi(t_0); \Pi_{\text{доп}}]$ . Такое предположение естественно, поскольку в этом интервале все значения ДП допустимы, а их изменение влияет на эффективность работы линейно. Некоторые случайные искажения изменения износа во времени объясняются скоростью изменения воздействующих факторов. Линеаризация этих изменений не искажает результаты расчета.

Зная скорость изменения, можно оценить интервал времени  $T_{\text{оп}}[\Pi(t)]$ , по истечению которого значение износа станет равным единице, а значение остаточного ресурса – нулю, и возникнет опасность технического состояния. Очевидно, что при известном  $\text{Re}[\Pi(t_k)]$  и  $v[\Pi(t_k)]$  значение  $T_{\text{оп}}[\Pi(t)]$  равно их произведению, т.е.  $T_{\text{оп}}[\Pi(t_k)] = \text{Re}[\Pi(t_k)] \times v[\Pi(t_k)]$ , а  $t_{\text{оп}} = t_k + T_{\text{оп}}[\Pi(t_k)]$ , где  $t_{\text{оп}}$  – момент

возникновения опасности технического состояния объекта.

На рис. 2 приведена графическая иллюстрация величин  $T_{\text{оп}}[\Pi(t_k)]$  и  $t_{\text{оп}}$ .

Как было отмечено ранее, размер износа, как и скорость изменения износа, являются многомерными случайными величинами. В этой связи представляет интерес вопрос учета случайного характера их средних значений. Поскольку значения износа и скорости износа функционально взаимосвязаны, то достаточно учесть случайный характер одной из двух величин. Поскольку значение износа зависит от длительности рабочего состояния, а скорость износа не зависит, целесообразно в расчетах случайной величины представить именно скорость износа.

Среднее значение износа и его верхнее граничное значение определяются аналитически по аналогичным показателям скорости износа. При этом надо иметь в виду, что верхнее граничное значение скорости износа позволяет оценить нижнее граничное значение момента возникновения опасности.

Множество возможных реализаций скорости изменения износа могут быть получены по результатам испытания отдельных фаз и результатов испытания аналогичных объектов, основные паспортные данные и условия эксплуатации которых идентичны. Учитывая многомерный характер этих реализаций, воспользуемся фидуциальным подходом. Как указано в [7], этот подход особенно эффективен при малом числе реализаций, что и характерно для статистических данных эксплуатации объектов ЭЭС. Пусть в результате сбора статистических данных получены сведения, позволяющие рассчитать  $n_i$  реализаций  $v[\Pi_i(t)]$ , где  $i=1, n_{\text{дп}}$ ;  $n_{\text{дп}}$  – число ДП. Заметим, что минимальное число реализаций выборки  $i$ -го ДП  $n_i=3$  и соответствует числу фаз объекта и, без сомнения, чем число реализаций больше, например  $n_i=10$ , тем закономерности их распределения будут отражены больше и тем точнее будут рассчитаны критические значения показателя безотказности объекта. Кажущаяся простота этого утверждения обманчива, так как с ростом числа объектов возрастает вероятность различия их показателей безотказности и целесообразность классификации данных. Алгоритм расчета критических значений среднего арифметического случайных величин сводится к следующей последовательности вычислений [8].

1. Формируется статистическая функция распределения реализаций  $v(\Pi_i)$  с  $i=1, n_{\text{дп}}$ , обозначим ее как  $F^*[v(\Pi_i)]$ . Размещаем  $n_i$  реализаций множества  $[v(\Pi_i)]_{n_i}$  в порядке возрастания и каждому

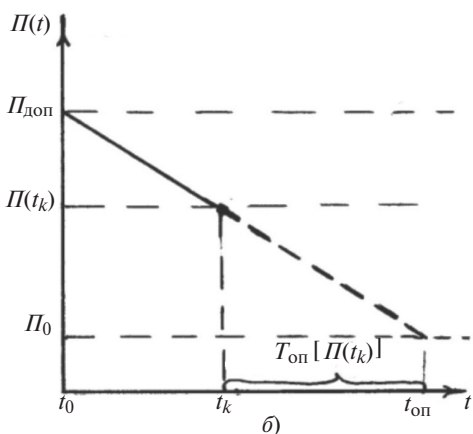
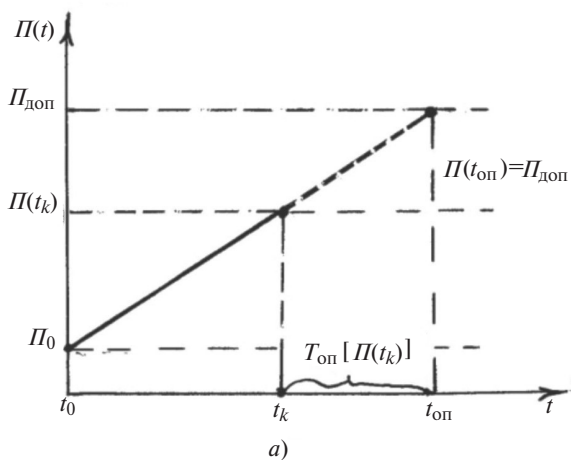


Рис. 2. Иллюстрация оценки момента возникновения опасности: а –  $\Pi(t_0) < \Pi_{\text{доп}}$ ; б –  $\Pi(t_0) > \Pi_{\text{доп}}$

значению  $v_j(\Pi_i)$  сопоставляем вероятность  $F^*[v_j(\Pi_i)] = j/n_i$ , где  $j$  – порядковый номер реализации  $v(\Pi_i)$  в ранжированном ряду  $v_j(\Pi_i)$  с  $j=1, n_i$ .

2. Проводим статистическое моделирование ( $m$ )  $n_i$  реализаций  $v_{m,j}(\Pi_i)$  с  $j=1, n_i$  по (4) из [9]:

$$F^*[v_{m,j}(\Pi_i)] = \frac{j-1}{n_j+1} + \frac{v_{m,j}(\Pi_i) - v_j(\Pi_i)}{(n_i+1)[v_{j+1}(\Pi_i) - v_j(\Pi_i)]}, \quad (4)$$

где

$$v_{m,j}(\Pi_i) = v_j(\Pi_i) + [v_{j+1}(\Pi_i) - v_j(\Pi_i)] \times \xi(n_j+1 - (j-1)). \quad (5)$$

3. Вычисляем среднее арифметическое этих реализаций:

$$M^*[v_m(\Pi_i)] = \sum_{j=1}^{n_i} v_{m,j}(\Pi_i) / n_i. \quad (6)$$

4. Проводим  $N_{и}$  раз моделирование и расчет  $M^*[v_m(\Pi_i)]$ ; число реализаций на первом этапе выбирается равным 500.

5. Строится статистическая функция фидуциального распределения  $F^*\{M^*[v_m(\Pi_i)]\}$  и определяется верхнее граничное значение фидуциального интервала с уровнем значимости  $\alpha=0,01$ , которое и называется критическим. По сути, в ранжированном в порядке возрастания ряду значение  $M^*[v_m(\Pi)]$  – это 496-е значение; обозначим его через  $\overline{M^*[v_m(\Pi_i)]}$ .

6. Принимается  $N_{и} = 1000$  и пп. 2–5 повторяются. Условием точности оценки  $\overline{M^*[v_m(\Pi_i)]}$  является устойчивость реализаций.

7. Вычисляем относительное абсолютное значение разности критических значений  $\overline{M^*[v_m(\Pi_i)]}$  для 500 и 1000 реализаций. Если относительное расхождение превышает 1%, то моделирование  $\overline{M^*[v_m(\Pi_i)]}$  продолжается для  $N_{и} = 1500$ . Процесс вычислений завершается при выполнении условия непревышения в 1% абсолютного значения относительного отклонения критических значений.

В соответствии с [10] критическое значение  $\overline{M^*[v_m(\Pi_i)]}$  может быть приближенно рассчитано по рекомендуемому экспресс-методу:

$$\overline{M^*[v_m(\Pi_i)]} = M^*[v_m(\Pi_i)] \left( 1 - \frac{A}{\sqrt{n_{д}}} \right), \quad (7)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от значения  $\alpha$ ; например, при  $\alpha=0,05$   $A=1,13$ , а для  $n=3$

$$M^*[v_m(\Pi_i)] = 0,35 M^*[v_m(i)].$$

Зная критическое значение  $\overline{M^*[v_m(\Pi_i)]}$  по приведенным ранее формулам, вычисляем критическое значение: износа  $Iz_m[\Pi_i(t)]$ ; остаточного ресурса  $Re_m[\Pi_i(t)]$ ; момента времени возникновения опасности  $T_m[\Pi_i(t)]$ .

Укрупненная блок-схема алгоритма контроля безопасности объекта приведена на рис. 3.

Следует отметить, что приведенный алгоритм позволяет оценить момент возникновения опасности технического состояния объекта лишь по одному ( $i$ -му) ДП. На самом деле, их множество, в отдельных случаях – десятки. Для повышения эффективности вычисления авторы предлагают переход от ДП к узлам объекта, техническое состояние которых характеризуется не менее чем одним ДП.

**Учет многомерности условий возникновения опасности технического состояния.** В подтверждение изложенного далее приведен фрагмент протокола испытания узла «токоведущий контур» бакового воздушного выключателя:

**Токоведущий контур**

1. Сопротивление изоляции воздушных проводов, опорных и подвижных частей, выполненной из органических материалов (п.10.1.1.[1];с4:  
фаза А \_\_\_\_\_ мОм, фаза В \_\_\_\_\_ мОм, фаза С \_\_\_\_\_ мОм
2. Сопротивление постоянному току токоведущего контура (п.10.3.1[1] ); норма: см.приложение 1): фаза А \_\_\_\_\_ мкОм, фаза В \_\_\_\_\_ мкОм, фаза С \_\_\_\_\_ мкОм
3. Проверка временных характеристик бакового выключателя (табл.10.6[1]); норма: (см. приложение 2 и 3)

Наименование характеристики	Фаза А	Фаза В	Фаза С
1. Собственное время отключения, с			
2. Собственное время включения, с			
3. Безконтактная пауза АПВ, с (не более)			

Как следует из рис. 3, оценка технического состояния этого контура требует измерения (3х5) ДП, из которых пять отличаются содержанием.

Остаточный срок службы до возникновения опасного технического состояния узлов объекта и объекта в целом различен, а оценка их критических значений вручную возможна при использовании экспресс-метода, но приближенно. Иначе говоря, учет многомерности условий возникновения опасного технического состояния требует применения компьютерных технологий. Но на вычислении этих показателей для всех ДП расчеты не завершаются. Необходимо оценить их для основных узлов и объекта в целом. Эти данные, в свою очередь, позволяют количественно оценить техническое состояние объекта в пятибалльной системе, уточнить стратегию технического обслуживания, выявить «слабые звенья», прогнозировать срок и объем планового ремонта. И именно эти результаты должны рассматриваться как анализ сведений об испытании объекта и как рекомендации по повышению его безопасности.

Остаточный срок службы узлов объектов до возникновения опасного технического состояния оп-





Рис. 3. Укрупненная блок-схема алгоритма контроля безопасности объекта по данным дискретного мониторинга

ределяется нахождением минимального значения этого показателя среди характеризующих этот узел аналогичных показателей ДП:

$$T_{\text{оп}j}[\Pi(t)] = \min\{T_{\text{оп}}[\Pi(t)]\}_{n_{j,y}}, \quad (8)$$

где  $n_{j,y}$  – число ДП, характеризующих техническое состояние  $j$ -го узла.

А остаточный срок службы до возникновения опасного технического состояния объекта в целом будем определять как минимальное значение этого показателя для узлов объекта, т.е.

$$T_{\text{оп}}^{\text{об}}[\Pi(t)] = \min\{T_{\text{оп}}^y[\Pi(t)]\}_{n_y}, \quad (9)$$

где  $n_y$  – число узлов объекта.

Классификация технического состояния и рекомендации проводятся в табл. 1.

В табл. 2 приведен упрощенный пример результатов анализа технического состояния силового трансформатора.

По результатам табл. 2 техническое состояние силового трансформатора оценивается как *неудовлетворительное*. Эта оценка определяется неудовлетворительным техническим состоянием *встроенных трансформаторов тока*. Установлено, что на фазе А трансформаторов тока имеет место увеличение сопротивления обмотки постоянному току.

Рекомендация. В течение трех месяцев обеспечить отключение трансформатора на плановый ремонт.

Таблица 1

Интервал изменения износа	Оценка технического состояния	Рекомендации по техническому обслуживанию
≤0,2	Отлично	Сохранить качество технического обслуживания. Отметить хорошую работу персонала
>0,2, но ≤0,4	Хорошо	Повысить эффективность ежедневного осмотра путем контроля «слабых звеньев»
>0,4, но ≤0,6	Удовлетворительно	Обеспечить мониторинг изменения ДП, определяющих износ узлов объекта
>0,6, но ≤0,8	Неудовлетворительно	Планировать восстановление износа по значению $T_{оп}^{об}[I(t)]$
>0,8	Недопустимо	Отключить на аварийный ремонт

Таблица 2

Номер	Наименование узлов	Размер износа, отн.ед.	Остаточный срок службы, год	Оценка технического состояния
1	Обмотки и изоляция	0,13	7,8	Отлично
2	Масло	0,54	2,1	Удовлетворительно
3	Встроенные трансформаторы тока	0,72	0,6	Неудовлетворительно
4	Вводы	0,37	4,3	Хорошо

**Выводы.** 1. Отмечаемая специалистами тенденция к снижению квалификации персонала по обслуживанию электроэнергетических объектов обуславливает актуальность повышения безопасности оборудования и устройств как одного из основных свойств надежности и эффективности работы.

2. Существующие методы текущей оценки технического состояния оборудования и устройств основываются на мониторинге ряда диагностических параметров и контроля непревышения их допустимых значений. При этом не учитывается ни остаточный ресурс, ни скорость изменения износа. Иначе говоря, отсутствует прогноз момента возможного ухудшения технического состояния до предельно допустимого значения.

3. Разработаны метод и алгоритм прогнозирования возникновения опасности технического состояния объекта по множеству диагностических параметров.

4. Отличительной особенностью этого метода является учет случайного характера значения износа, остаточного ресурса и значение остаточного срока службы до возникновения опасного технического состояния. Учет проводится на основе фидуциального подхода, имитационного моделирования и теории проверки статистических гипотез.

5. Трудоемкость и громоздкость ручного счета, «человеческий фактор» и наукоемкость метода свидетельствуют о целесообразности компьютерных технологий. Разработанные алгоритмы и программы расчета обеспечивают персонал наряду с информационной и методическую поддержку.

6. Снижение громоздкости оценки критических значений скорости износа вручную может быть достигнуто экспресс-методом их расчета. Но это снижение достигается, к сожалению, лишь за счет достоверности.

7. Предлагается технология формирования рекомендаций персоналу по количественной оценке срока проведения восстановления износа узлов, техническое состояние которых требует вмешательства ремонтного персонала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воропай Н.И.** Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. 2011, вып.62, с. 321–325 (Иваново: ПресСТО).
2. **Дьяков А.Ф., Исамухаммедов Я.Ш.** Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. АзНИПИИЭ, 2013, вып.63, с. 7–13 (Баку: АзНИПИИЭ).
3. **Орлов А.И.** Наука и технология в России, 1994, № 3(5), с. 7–8.
4. **«Объем и нормы испытания электрооборудования».** М.: ЭНАС, 2008, 256 с.
5. **«Нормы МЭК».** ООО «Энерго-Автоматик»: energo-a.ru
6. **Рафиева Т.К.** Имитационное моделирование индивидуальной надежности энергоблоков ТЭС. Автореферат дисс... канд. техн. наук. Баку, 2007, 28 с.
7. **Колмогоров А.А.** Определение центра рассеяния и меры точности по ограниченному числу наблюдений. — Изв. АН СССР. Математика, 1942, № 6, с. 3–32.
8. **Фархадзаде Э.М.** О расхождении граничных значений доверительных и фидуциальных интервалов параметров надежности систем. — Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1979, № 4, с. 196–199.
9. **Farhadzadeh E.M., Muradaliyev A.Z., Farzaliyev Y.Z.** Comparison methods of modeling continuous random variables on empirical distributions. — «Reliability: Theory&applications». (USA), 2013, June., vol. 8, No. 2(29), pp. 49–54.
10. **Абдуллаева С.А.** Разработка методов и алгоритмов расчета показателей эксплуатационной надежности высоковольтных выключателей. Автореферат дисс... канд. техн. наук. Баку, 2018, 27 с.

[17.10.2018]

*Авторы: Фархадзаде Эльмар Мехтевич окончил в 1961 г. энергетический факультет Азербайджанского института нефти и химии (АзИНЕФТЕХИМН, Баку). В 1982 г. защитил докторскую диссертацию «Точность и достоверность характеристик надежности электрооборудования» в Новосибир-*

ском электротехническом институте. Главный научный сотрудник Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-испытательского института энергетики (АзНИПИИЭ).

**Мурадалиев Айдын Зураб оглу** окончил в 1982 г. энергетический факультет АЗИНЕФТЕХИМ. В 2013 г. защитил докторскую диссертацию «Разработка методов и алгоритмов расчета показателей

индивидуальной надежности оборудования и устройств ЭЭС». Руководитель отдела АзНИПИИЭ.

**Исмаилова Симузар Мовлан кызы** окончила энергетический факультет АЗИНЕФТЕХИМ в 1985 г. Старший научный сотрудник отдела АзНИПИИЭ.

**Юсифли Реван Физули оглы** – Инженер отдела проектирования АзНИПИИЭ.

*Elektrichestvo*, 2019, No. 4, pp. 12–18

DOI:10.24160/0013-5380-2019-4-12-18

## A Method and Algorithm for Predicting Dangerous Technical Condition of Electric Power System Facilities

**FARKHADZADE Elmar M.** (Azerbaijan Scientific Research Designing Institute of Power Engineering (ASRDIPE), Baku, Azerbaijan) – Senior scientific researcher, Dr. Sci. (Eng.)

**MURADALIYEV Audin Z.** (ASRDIPE, Baku, Azerbaijan) – Head of the Department, Dr. Sci. (Eng.)

**ISMAILOVA Simuzar M.** (ASRDIPE, Baku, Azerbaijan) – Senior scientific researcher, Cand. Sci. (Eng.)

**YUSIFLY Revan F.** (ASRDIPE, Baku, Azerbaijan) – Engineer of Planning Department

The article presents the developed methods and algorithms for predicting the moment at which dangerous technical condition of a facility occurs based on a set of diagnostic parameter realizations of similar facilities. Application of the developed methods makes it possible to overcome a number of difficulties encountered in assessing safety parameters of facilities. The difficulties arise from the fact that the wear and its variation rate are random in nature; that the realizations of diagnostic parameters are multidimensional, and that manual calculations are cumbersome and laborious. The latter difficulty is overcome by applying computer technologies as a computer-aided intellectual technical condition management subsystem. In view of the fact that diagnostic parameter realizations are multidimensional and random in nature, application of a fiducial approach seems to be advisable. One of the main objectives to be solved in the course of operation is to reveal weak links of facilities, i.e., components determining the facility safety as a whole. The service life remaining to the occurrence of dangerous technical state can be calculated manually using an experimental formula representing an analytical correlation between the critical value of remaining service life, number of realizations, and significance level. The test data, in turn, make it possible to characterize the facility technical condition in a five-mark grading system and to refine the maintenance strategy. A technique for producing particular recommendations on preventing a facility from transferring in a dangerous state and the output forms of the test recommendations are developed.

**Key words:** electric power systems, technical condition, multidimensional data, fiducial approach, simulation, algorithm

### REFERENCES

1. **Voropai N.I.** *Metodicheskiye voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki* – in Russ. (Methodical questions of research of reliability of the large systems of energy), 2011, iss. 62, pp. 321–325 (Ivanovo, PrecCTO).

2. **D'yakov A.F., Isamukhammadov Ya.Sh.** *Metodicheskiye voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki* – in Russ. (Methodical questions of research of reliability of the large systems of energy), 2013, iss. 63, pp. 7–13 (Baku, Publ. AzNIPiIE).

3. **Orlov A.I.** *Nauka i tekhnologiya v Rossii* – in Russ. (Science and Technology in Russia), 1994, No. 3(5), pp. 7–8.

4. «**Ob'yem i normy ispytaniya elektrooborudovaniya**» (Volume and norms of test of equipment). Moscow, Publ. ENAS, 2008, 256 p.

5. **Normy MEK. LLC** «EnergO-Avtomatic»: energo-a.ru

6. **Rafiyeva F.K.** *Imitatsionnoye modelirovaniye individual'noi nadezhnosti...*: Avtoref. diss. ... kand. tech. nauk. (Baku, PrecCTO), 2007, 28 p.

7. **Kolmogorov A.A.** *Izvestiya AN USSR. Matematika* – in Russ. (News of USSR Academy of Sciences. Mathematics), 1942, No. 6, pp. 3–32.

8. **Farkhadzade E.M.** *Izvestiya AN SSSR, Technicheskaya kibernetika* – in Russ. (News of USSR Academy of sciences. Technical cybernetics), 1979, No. 4, pp. 196–199.

9. **Farkhadzade E.M., Muradaliyev A.Z., Farzaliyev Y.Z.** Comparison methods of modeling continuous random variables on empirical distributions. – «Reliability: Theory & applications». USA, 2013, June., vol. 8, No. 2(29), pp. 49–54.

10. **Abdullayeva S.A.** *Razrabotka metodov i algoritmov rascheta pokazatelei. ... : avtoref. diss. ... cand. techn. nauk* (Development of methods and algorithms of calculation of indexes. ...). Diss. for the Degree of Cand. Sci. (Eng.). Baku, 2018, 27 p.

[17.10.2018]