

Совершенствование методов управления эксплуатационной надежностью распределенных объектов энергетики

Improving the methods for managing the operational dependability of distributed energy facilities

Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А.
Farhadzadeh E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A.

Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики, Баку, Азербайджан
Azerbaijan Scientific-Research and Design-Prospecting Institute of Energetic, Baku, Azerbaijan
e-mail: elmeht@rambler.ru



Фархадзаде Э.М.



Мурадалиев А.З.



Абдуллаева С.А.

Резюме. Совершенствование управления техническим состоянием оборудования, устройств и установок, срок службы которых превышает нормативное значение, относится к важнейшим проблемам государственной безопасности, так как их относительное число уже превышает 60%. Приводятся результаты анализа литературных данных по этой проблеме, которые подтверждают ее актуальность и значимость. Важно отметить, что эти выводы относятся не только к электроэнергетическим системам, но и ко многим другим производственным системам. Основными трудностями решения анализируемой проблемы является, прежде всего, малочисленность статистических данных, характеризующих надежность работы, их многомерный и случайный характер. Авторами решение этой проблемы предлагается осуществить путем перехода от усредненных среднегодовых показателей надежности к среднемесячным показателям оперативной надежности. Приводится краткая характеристика решения отдельных задач этой проблемы для воздушных линий электропередачи, которые совместно и представляют новую методологию управления техническим состоянием объектов распределенного типа. Научоемкость, громоздкость и трудоемкость алгоритмов расчета обуславливают целесообразность перехода к интеллектуальным системам. При этом руководство электроэнергетической системы и отдельных ее производственных предприятий ежемесячно будут получать специализированные формы с указанием рекомендаций, оптимизирующих повышение надежности воздушных линий электропередачи путем восстановления износа.

Abstract. Improving the management of the technical state of equipment, devices, and installations, whose service life exceeds the respective standard value, is a most important problem of national security, as their proportion already exceeds 60%. The paper presents the findings of an analysis of literature data in the respective subject area that confirms its relevance and significance. Importantly, the findings apply not only to electrical power systems, but to many other industrial systems as well. The primary difficulties associated with solving the problem at hand are, first and foremost, the small quantity of statistical data that characterise operational dependability, their multidimensional and random nature. The authors suggest solving the problem by abandoning average annual dependability indicators in favour of average monthly operational dependability indicators. The authors provide a brief description of the individual solutions as part of the overall problem as regards overhead power lines that together represent a new methodology for managing the technical state of distributed facilities. The research-intensive, cumbersome, and time-consuming calculation algorithms suggest employing intelligent systems. The management of the electrical power system and its individual business units is to receive monthly specialised forms with recommendations as to the ways of improving the dependability of overhead power lines by restoring wear and tear.

Ключевые слова. Оперативная надежность, техническое состояние, автоматизированное управление, риск-ориентированный подход, эффективность работы, воздушные линии электропередачи.

Keywords. Operational dependability, technical state, automated management, risk-based approach, operational efficiency, overhead power lines.

Для цитирования: Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. Совершенствование методов управления эксплуатационной надежностью распределенных объектов энергетики // Надежность. 2025. №1. С. 11-18. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2025-25-1-11-18>

For citation: Farhadzadeh E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A. Improving the methods for managing the operational dependability of distributed energy facilities. *Dependability 2025*; 1: 11-18. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2025-25-1-11-18>

Поступила: 26.05.2024 / **После доработки:** 23.12.2024 / **К печати:** 05.03.2025
Received on: 26.05.2024 / **Revised on:** 23.12.2024 / **For printing:** 05.03.2025

Введение

Одной из основных проблем электроэнергетических систем (далее – ЭЭС) является совершенствование управления техническим состоянием оборудования, устройств и установок (далее – объектов). Традиционно используемая для управления система планово-предупредительного ремонта (далее – ППР) уже не удовлетворяет предъявляемым требованиям, точнее – становится недостаточной. Это несоответствие возникло, прежде всего, потому, что в ЭЭС систематически возрастает относительное число однотипных объектов, срок службы которых превышает нормативное значение. Так, еще в 2012 г. в [1] отмечено, что ЭЭС России нуждаются в серьезной модернизации основных фондов и замене почти 50% физически и морально устаревшего оборудования.

В [2] отмечается, что срок службы примерно двух третьих ядерных реакторов превышает нормативное значение, внедряются программы по управлению старением. Старение объектов сопровождается увеличением числа и тяжести аварий, последствия которых не только приводят к большим материальным затратам, но и к нарушениям экологии, травмированию и гибели персонала, нарушениям безопасности государства.

В то же время, обязательная замена основных объектов, срок службы которых превышает нормативное значение, на новое не только создает большие экономические трудности, но и нецелесообразна. И, прежде всего, потому, что техническое состояние (далее – ТС) основных объектов в большей части случаев зависит не только от календарного срока службы, но и от условий эксплуатации и, прежде всего, от нагрузки.

1. Особенности методов управления ТС опасных производственных объектов

Наряду с ростом относительного числа объектов, срок службы которых превышает нормативное значение, увеличением числа недопустимых аварий, возрастает и число публикаций, в которых формируются основные замечания к методам управления ТС производственных объектов на основе риск-ориентированного подхода (далее – РОП).

Ниже приводится ряд мнений и рекомендаций о результатах применения этих методов за период с 2011 по 2020 годы, с которыми нельзя не согласиться. Но, прежде всего, условимся, что под «методом» мы будем понимать «инструмент» для решения поставленной задачи, под «подходом» – выбор определенного метода, а под методологией – объективную последова-

тельность методов решения исследуемой проблемы. Это уточнение терминов сформулировано на основе ознакомления с рядом научных исследований об их различии. К значимым рекомендациям, на наш взгляд, относятся следующие.

В [3] рассмотрены научные основы обеспечения безопасности производственных объектов. Отмечается, что:

- абсолютная безопасность опасных производственных объектов (далее – ОПО) *не может быть обеспечена в принципе*;

- риск оценки ТС ОПО – это количественная мера опасности возникновения недопустимых событий при отказах ОПО;

- основная задача руководителей ОПО – *поддержание нормативно установленного допустимого уровня опасности (риска)*;

- несмотря на разнообразие рекомендаций на тему «безопасность ОПО», они носят *декларативный характер*;

- основными направлениями совершенствования системы обеспечения безопасности ОПО являются:

- создание подхода к современному (оперативному) учету влияния ТС ОПО на безопасность;

- учет *многофакторности воздействия* на безопасность ОПО.

В [4] отмечается, что для обеспечения безопасности ОПО нефтегазового комплекса все большее значение приобретает решение задач, связанных с *предупреждением* возможных аварийных ситуаций и минимизацией технологических и экологических *рисков*. Существующие в настоящее время методики оценки рисков промышленной безопасности *не учитывают* постоянно изменяющийся во времени нестационарный *случайный характер рисков*.

В [5] отмечается, что анализ рисков – бурно развивающееся *междисциплинарное* научное направление, в котором:

- до сих пор *не сформулирован и существенно отличается по отраслям* понятийный аппарат анализа риска;

- сугубо *большой* удельный вес используемых количественных показателей надежности и *несовершенство* методологии их использования (формирование интегральных показателей надежности);

- несовершенство имеющейся методической базы. Все расчеты *рекомендуется проводить в точечной постановке*.

В [6] отмечается, что недостатками существующих методов количественной оценки риска являются:

- оценка вероятности наступления события проводится по *ограниченному* объему исходных статистических данных;

– несмотря на громоздкость и наукоемкость методов, расчеты выполняются *вручную*;

– не учитывается *многомерный* характер риска.

В [7] отмечается, что количественные оценки частоты возникновения отказов однотипных объектов *отличаются друг от друга на два-четыре* порядка. Анализ причин такого расхождения показывает:

– объем исходных данных *недостаточен*;

– при выполнении расчетов принимается целый ряд *недопустимых* предположений;

– *наличие существенных ошибок* в расчетах показателей надежности вследствие *недостаточной квалификации* исполнителей;

– чем больше показателей, характеризующих надежность ОПО, *тем разброс результатов расчета больше*.

2. Особенности нормативных методов управления ТС ОПО ЭЭС

К нормативным методам управления ТС ОПО ЭЭС относятся, прежде всего [8, 9]. К сожалению, отмеченные выше недостатки методов обеспечения безопасности ОПО в [8, 9] не устранены. Да, не были учтены, несмотря на то, что опыт практического использования этих методов обсуждался на научно-практических конференциях на тему «Контроль технического состояния оборудования объектов электроэнергетики», проводимых в 2018 и 2019 гг. [10, 11].

В то же время в [12] отмечается, что:

– вероятность наступления события в будущем определяется на основе частоты появления этого события в прошлом. При этом *не учитывается* возможность корректировки действий, преобразующих поток событий;

– наблюдается *недостаточный объем и неоднородность* выборки статистических данных об отказах;

– такие показатели как количество, частота и средняя тяжесть несчастных случаев *являются совершенно безосновательными*;

– статистика прошлых лет (для 3–5 лет) в полном соответствии с правилами теории вероятностей и математической статистики *непригодна*, так как неслучайна и неоднородна.

В [13] отмечается:

– в обозримом будущем энергокомпании будут вынуждены решать задачу обеспечения надежности при *высоком износе оборудования и недостатке ресурсов*;

– наряду с системами ППР и ремонта по ТС целесообразно ввести *систему ремонта на основе РОП*.

– существующие методики прогнозирования ТС ОПО на основе *РОП не охватывают* ЛЭП и устройства напряжением 0,4–10 кВ. Но эти ЛЭП составляют около 90% протяженности сетей, относятся к распределительной электрической сети (далее – РЭС) и являются источниками 80% аварий;

– методики [8] и [9] *активно используются в ЭЭС РФ*;

– дискретный индекс технического состояния (далее – ИТС) служит основой для *ранжирования* объектов

ЭЭС (при этом не учитывается случайный характер исходных данных);

– для управления оперативной ремонтной деятельностью, рассчитываемый ИТС *неприемлем*.

– имеются *значительные пробелы* в нормативном регулировании РОП.

3. Рекомендуемые подходы управления техническим состоянием воздушных ЛЭП

Объекты ЭЭС классифицируются на объекты непрерывного (трансформаторы) и дискретного (выключатели) действия, сосредоточенные (энергоблоки) и распределенные (ЛЭП). Это различие обуславливает различие числа показателей их надежности и способов оценки. Учитывая, что более 80% аварий в ЭЭС связано с РЭС [13], рассмотрим решение этой проблемы для воздушных ЛЭП (далее – ВЛЭП).

Вышеизложенное позволяет заключить, что совершенствование управления ТС ВЛЭП ЭЭС предусматривает возможность объективного решения ряда задач, к числу которых, прежде всего, относятся:

1. Ранжирование предприятий распределительной сети (далее – ПРС) по степени старения (далее – СТ) эксплуатируемых ВЛЭП и распознавание ПРС, СТ ВЛЭП которых наибольшая;

2.1. Оценка объективных показателей надежности ВЛЭП;

2.2. Преодоление субъективности выборочного освидетельствования;

3. Учет случайного характера оценок оперативных показателей надежности и различия степени технического использования ВЛЭП при:

– сравнение оценок в расчетном и предшествующих ему месяцах;

– ранжирование ПРС;

– распознавание «слабых звеньев»;

4. Учет случайного и многомерного характера оперативной надежности ВЛЭП ЭЭС при:

– ранжирование ПРС;

– распознавание «слабых звеньев»;

5. Оценка объективности рекомендуемых методов и алгоритмов;

6. Минимизация риска ошибочного решения при методической поддержке руководства ЭЭС и ПРС.

Прежде всего, уточним наше отношение к принятой системе проектирования систем электроснабжения. И, в частности, к обеспечению надежности электроснабжения с учетом категории потребителей и требований Правил устройства электроустановок.

Многoletний опыт проектирования и эксплуатации систем электроснабжения свидетельствует о том, что в подавляющем большинстве случаев введенные в эксплуатацию системы электроснабжения удовлетворяют предъявляемым требованиям. Следовательно, сомневаться в безошибочности методов проектиро-

вания не приходится. При этом риск возникновения недопустимых событий существует (напомним, что абсолютная безопасность исключается [3]), хотя он и незначительный.

Следовательно, смысл контроля ТС системы электроснабжения заключается совсем не в оценке изменений последствия нарушения электроснабжения. Возможные последствия известны из проектной документации. Не изменение размеров последствий вызывает изменение надежности объектов систем электроснабжения, а наоборот. Изменение показателей надежности изменяет размеры возможных последствий. Таким образом, при анализе ТС объектов электроснабжения достаточно оценить значимость изменения оценок показателей надежности объектов. Но значимость изменения показателей надежности конкретных объектов определить, как правило, невозможно, так как отказов могло и не быть, или их так мало, что количественные оценки оказываются не достоверными. Если учесть к тому же, что таких объектов в ЭЭС тысячи и даже десятки тысяч, то громоздкость и трудоемкость расчетов к тому же обуславливают высокий риск ошибочного решения и несомненные преимущества интуитивного подхода специалистов.

Но можно подойти к решению проблемы несколько иначе. Обобщим некоторые полученные нами и опубликованные в 2021 г. результаты решения проблемы для ВЛЭП.

В [14] анализируются количественные оценки СТ ВЛЭП (см. пункт 1) Показано, что *используемая на практике* оценка относительного числа ВЛЭП, срок службы которых превышает нормативное значение, *неприемлема* для сопоставления и ранжирования СТ ВЛЭП ПРС ЭЭС. Разработан метод и алгоритм решения этой задачи.

В [15] (см. пункты 2.1 и 2.2) отмечается, что ТС ВЛЭП целесообразно оценивать *оперативными показателями надежности работы*. Среднемесячные значения вероятности автоматических аварийных отключений ВЛЭП вычисляются по данным оперативных журналов. Результаты объективной классификации позволяют выявить «слабые звенья» и тем самым распознать ВЛЭП, в наибольшей степени снижающие эффективность работы ЭЭС. Снижение риска ошибочного решения при освидетельствовании ТС ВЛЭП достигается рекомендуемым методом формирования представительной выборки подлежащих испытанию элементов этих ВЛЭП.

В [16] (см. пункт 3) рекомендуется новый метод и алгоритм оперативной оценки и сравнения показателей надежности ВЛЭП. Отличительной особенностью метода расчета является учет степени технического использования ВЛЭП. Алгоритм оценки показателей оперативной надежности разработан для удельного числа аварийных автоматических отключений ВЛЭП, для устойчивых отказов, вероятности устойчивого отказа и

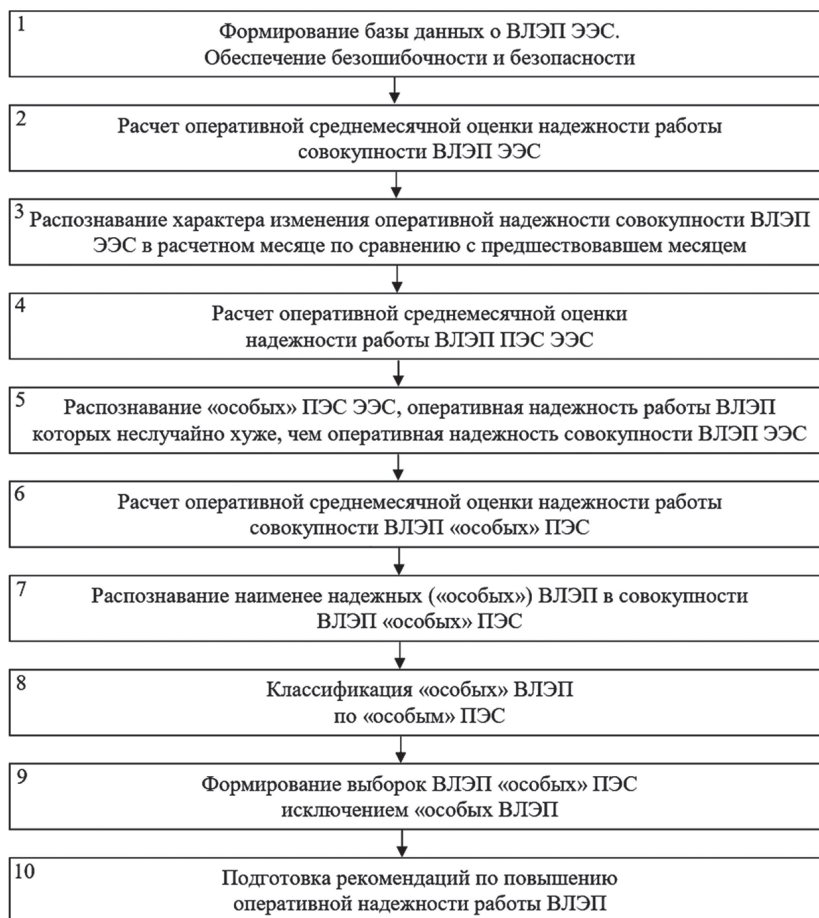


Рис. 1. Укрупненная блок-схема алгоритма повышения оперативной надежности работы ВЛЭП ЭЭС

Дата анализа 05 мая 2021 год	Главному инженеру ЭЭС																																				
Сведения об оперативной надежности воздушных ЛЭП в апреле месяце 2021 года																																					
1. По сравнению с предшествующим месяцем оперативная надежность ВЛЭП ЭЭС снизилась ; 2. В таблице А приведены размещенные в порядке уменьшения усредненные среднемесячные оценки оперативной надежности работы ВЛЭП ЭСП ЭЭС.																																					
Таблица А. Сведения об оперативной надежности ВЛЭП ЭСП ЭЭС																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th>№ п/п</th> <th>Наименование ЭСП</th> <th>Рейтинг ЭСП</th> <th>№ п/п</th> <th>Наименование ЭСП</th> <th>Рейтинг ЭСП</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td><i>ЭСП 5</i></td> <td><i>Хор</i></td> <td>6</td> <td><i>ЭСП 9</i></td> <td><i>Удовл</i></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td><i>ЭСП 3</i></td> <td><i>Хор</i></td> <td>7</td> <td><i>ЭСП 6</i></td> <td><i>Неудовл</i></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td><i>ЭСП 7</i></td> <td><i>Хор</i></td> <td>8</td> <td><i>ЭСП 2</i></td> <td><i>Неудовл</i></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td><i>ЭСП 8</i></td> <td><i>Хор</i></td> <td>9</td> <td><i>ЭСП 4</i></td> <td><i>Неудовл</i></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td><i>ЭСП 1</i></td> <td><i>Удовл</i></td> <td>10</td> <td><i>ЭЭС</i></td> <td><i>Удовл</i></td> </tr> </table>		№ п/п	Наименование ЭСП	Рейтинг ЭСП	№ п/п	Наименование ЭСП	Рейтинг ЭСП	1	<i>ЭСП 5</i>	<i>Хор</i>	6	<i>ЭСП 9</i>	<i>Удовл</i>	2	<i>ЭСП 3</i>	<i>Хор</i>	7	<i>ЭСП 6</i>	<i>Неудовл</i>	3	<i>ЭСП 7</i>	<i>Хор</i>	8	<i>ЭСП 2</i>	<i>Неудовл</i>	4	<i>ЭСП 8</i>	<i>Хор</i>	9	<i>ЭСП 4</i>	<i>Неудовл</i>	5	<i>ЭСП 1</i>	<i>Удовл</i>	10	<i>ЭЭС</i>	<i>Удовл</i>
№ п/п	Наименование ЭСП	Рейтинг ЭСП	№ п/п	Наименование ЭСП	Рейтинг ЭСП																																
1	<i>ЭСП 5</i>	<i>Хор</i>	6	<i>ЭСП 9</i>	<i>Удовл</i>																																
2	<i>ЭСП 3</i>	<i>Хор</i>	7	<i>ЭСП 6</i>	<i>Неудовл</i>																																
3	<i>ЭСП 7</i>	<i>Хор</i>	8	<i>ЭСП 2</i>	<i>Неудовл</i>																																
4	<i>ЭСП 8</i>	<i>Хор</i>	9	<i>ЭСП 4</i>	<i>Неудовл</i>																																
5	<i>ЭСП 1</i>	<i>Удовл</i>	10	<i>ЭЭС</i>	<i>Удовл</i>																																
3. В таблице Б1 приведены паспортные данные ВЛЭП ЭЭС, оценки оперативной надежности которых как и рейтинг их ЭСП неудовлетворительный.																																					
Таблица Б1.																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th rowspan="2">№ п/п</th> <th colspan="2">Наименование</th> <th rowspan="2">Класс напряжения, кВ.</th> <th rowspan="2">Срок службы, лет</th> <th rowspan="2">Протяженность, км</th> <th rowspan="2">Исполнение</th> </tr> <tr> <th>ЭСП</th> <th>ВЛЭП</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>		№ п/п	Наименование		Класс напряжения, кВ.	Срок службы, лет	Протяженность, км	Исполнение	ЭСП	ВЛЭП																											
№ п/п	Наименование		Класс напряжения, кВ.	Срок службы, лет					Протяженность, км	Исполнение																											
	ЭСП	ВЛЭП																																			
4. В таблице Б2 приведены паспортные данные ВЛЭП ЭЭС, рейтинг оперативной надежности которых неудовлетворительный, а срок службы не превышает нормативное значение.																																					
Таблица Б2.																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th rowspan="2">№ п/п</th> <th colspan="2">Наименование</th> <th rowspan="2">Класс напряжения, кВ.</th> <th rowspan="2">Срок службы, лет</th> <th rowspan="2">Протяженность, км</th> <th rowspan="2">Исполнение</th> </tr> <tr> <th>ЭСП</th> <th>ВЛЭП</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>		№ п/п	Наименование		Класс напряжения, кВ.	Срок службы, лет	Протяженность, км	Исполнение	ЭСП	ВЛЭП																											
№ п/п	Наименование		Класс напряжения, кВ.	Срок службы, лет					Протяженность, км	Исполнение																											
	ЭСП	ВЛЭП																																			
5. Рекомендации по повышению оперативной надежности:																																					
5.1. Провести выборочное освидетельствование ВЛЭП, указанных в табл. Б1 5.2. Установить и устранить причины автоматических отключений ВЛЭП, приведенных в табл. Б2. 5.3. Организовать для персонала ЭСП, указанных в табл. Б1, курсы повышения квалификации по проблеме обслуживания стареющих ВЛЭП																																					

Рис. 2. Результаты анализа среднемесячной оперативной надежности ВЛЭП ЭЭС

коэффициента технического использования. Сравнение оценок для двух смежных оперативных интервалов предполагается проводить на основе граничных значений фидуциальных интервалов.

В [17] (см. пункт 4) разработан новый алгоритм оценки целесообразности классификации многомерных данных об отказах и длительности простоя ВЛЭП.

Разработан метод и алгоритм оценки оперативного интегрального показателя надежности, физическая сущность которого адекватна износу ТС. Разработан метод и алгоритм сравнения интегральных показателей оперативной надежности с учетом ошибки первого и второго рода. Разработан метод и алгоритм ранжирования показателей оперативной надежности, по-

звоящий выявить ВЛЭП, требующие оперативного освидетельствования.

В [18] (см. пункт 5) на примере статистических данных об отказах магистральных ВЛЭП 110 и 220 кВ приводятся результаты оценки и сравнения оперативной надежности работы. Целью анализа вручную является распознавание разновидностей признаков, для которых удельное число устойчивых отказов будет в наибольшей степени превышать этот показатель для совокупности ВЛЭП. Выявленные значимые разновидности признаков полностью совпадали с результатами выбора наименее надежных ВЛЭП на основе интуитивного подхода, что подтверждает безошибочность рекомендуемого метода количественного анализа.

В [19] предлагается метод и алгоритм автоматизированного сравнительного анализа (бенчмаркинга) оперативной надежности объектов РЭС. Переход от интуитивного подхода к количественному подходу оперативного распознавания «слабых звеньев» среди тысяч однотипных объектов позволил снизить риск ошибочного решения при организации их технического обслуживания и ремонта.

В иллюстративных целях на рис. 1 приведена укрупненная блок-схема алгоритма, которая на основе методов, изложенных в [14–19], позволяет автоматизировать процесс формирования рекомендаций для повышения оперативной надежности работы ВЛЭП ЭЭС.

4. Информационная и методическая подготовка технического руководства ЭЭС и каждого ЭСП

Результаты ежемесячного автоматизированного контроля оперативной надежности работы ВЛЭП и рекомендации по повышению эффективности работы формализуются в виде специальных форм и обеспечивают информационную и методическую поддержку технического руководства ЭЭС и каждого ПЭС.

В иллюстративных целях на рис. 2 приведен один из вариантов исполнения этих форм.

Заключение

Актуальность совершенствования методов управления эксплуатационной надежностью подтверждается не только для ЭЭС, но и для многих других производственных систем.

Решение этой проблемы предлагается осуществить переходом к анализу интегральных показателей оперативной надежности.

Методы расчета интегральных показателей оперативной надежности, учета случайного характера количественных оценок, оценки целесообразности классификации данных по разновидностям признаков сравнения и ранжирования оценок формируют методологию системы управления оперативной надежностью в ЭЭС.

Эти методы основаны на фидуциальном подходе, имитационном моделировании представительных выборок, учете ошибок первого и второго рода

Наукоемкость, громоздкость и трудоемкость ручного счета, высокий риск субъективных ошибок и предпосылок обуславливают необходимость перехода к интеллектуальным системам управления объектами, срок службы которых превышает нормативное значение.

Автоматизированное управление оперативной надежностью повышает значимость интуитивного подхода при реализации методических рекомендаций, ограничивающих риск ошибочного решения.

Библиографический список

1. Бердников Р.Н., Дементьев Ю.А., Моржин Ю.И. и др. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью // Энергия единой сети. 2012. № 4(4). С. 4–11.
2. Безопасное управление сроками эксплуатации атомных электростанций INSAG-14 / Доклад международной группы по ядерной безопасности. Серия по безопасности № INSAG-14. IAEA, Вена, 2014. 47 с.
3. Кузьмин А.А. Организация обеспечения безопасности опасного производственного объекта на основе количественной оценки состояния его системы безопасности // Технология гражданской безопасности. 2011. Т. 8. № 4(30). С. 72–79.
4. Абурахманов Н.Х., Шайбаков Р.А., Марков А.Б. Информационные модели управления минимизацией рисков потенциально опасных производственных объектов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 57. С. 729–736.
5. Колесников Ф.Ю. Основные проблемы методологии анализа риска аварий // Пожаробезопасность. 2016. Т. 25. № 2. С. 4–8.
6. Лисанов М.В., Печеркин А.С., Швыряев А.А. Методическое обеспечение и проблемы анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности. 2017. № 1(29). С. 179–184.
7. Лисанов М.В., Сумской С.И., Швыряев А.А. Неопределенность количественной оценки риска аварий на нефтегазовых объектах // Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности. 2018. № 2(34). С. 125–135.
8. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей. Утверждена приказом Минэнерго РФ от 26 июля 2017 г. № 676. 30 с.
9. Методические указания по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа. Утверждена приказом Минэнерго России от 19 февраля 2019 г. № 123. 35 с.
10. V Научно-практическая конференция «Контроль технического состояния объектов электроэнергетики». / Электроэнергия. Передача и распределение.

2019 г. № 1(52). URL: <https://eepir.ru/article/v-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-kontroly-tehnicheskogo-sostoyaniya-oborudovaniya-obyektov-elektroenergetiki/> (дата обращения: 27.12.2024).

11. VI Научно-практическая конференция «Контроль технического состояния объектов электроэнергетики». / Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 1(58). URL: <https://eepir.ru/new/obzor-dokladov-vi-nauchno-prakticheskoy-konferencii-kontroly-tehnicheskogo-sostoyaniya-i-obnarugenie-mest-povregdeniy-oborudovaniya-podstanciy-vozdushnyh-i-kabelnyh-linij/> (дата обращения: 27.12.2024).

12. Федорец А.Г. Применение современной методологии риск-менеджмента в системах менеджмента безопасности и охраны труда // Безопасность и охрана труда. 2018. № 1. С. 1-18.

13. Антоненко И.Н. Анализ риск-ориентированного подхода к управлению физическими активами // Промышленная энергетика. 2020. № 10. С. 57-60.

14. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. и др. Автоматизированный анализ срока службы воздушных ЛЭП электроэнергетических систем // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64. № 5. С. 435-445. DOI: 10.21122/1029-7448-2021-64-5-435-445

15. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. и др. Оценка технического состояния воздушных высоковольтных ЛЭП на этапе их старения // Надежность и безопасность энергетики. 2021. Т. 14. № 2. С. 100-107. DOI: 10.24223/1999-5555-2021-14-2-100-107

16. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. и др. Количественная оценка оперативной надежности воздушных линий электропередач // Электрические станции. 2021. № 2. С. 28-34. DOI: 10.34831/EP.2021.1081.8.004

17. Farhadzadeh E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A. Estimation, comparison and ranking of operational reliability indicators of overhead transmission lines of electric power systems // Reliability: Theory & applications. 2021. Vol. 4. No 65. Pp. 186-197. DOI: 10.24412/1932-2321-2021-465-186-196

18. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. Количественный анализ оперативной надежности воздушных линий электропередачи // Оперативное управление в электроэнергетике. 2021. № 5. С. 16-24.

19. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. Совершенствование оперативного управления эффективностью работы распределительных сетей // Промышленная энергетика. 2021. № 12. С. 16-23. DOI: 10.34831/EP.2021.77.85.002

References

1. Berdnikov R.N., Dementiev Yu.A., Morzhin Yu.I. et al. [The main provisions of the concept of an intelligent energy system with an active adaptive network]. *Energia yedinoj seti* 2012;4(4):4- 11. (in Russ.)

2. [Safe Life Management of Nuclear Power Plants INSAG-14. Report of the International Nuclear Safety Group. INSAG Safety Series no. 14]. IAEA, Vienna; 2014.

3. Kuzmin A. Organizations to Ensure Safety of Dangerous Industrial Based on the Quantitative Estimation of its Security System. *Civil Security Technology* 2011;8(4(30):72-79. (in Russ.)

4. Abdrakhmanov N.Kh., Shaybakov R.A., Markov A.G. Information models of management of minimization of risks potentially hazardous production facilities. *Mining informational and analytical bulletin* 2015;57:729-736. (in Russ.)

5. Kolesnikov E.Yu., Anokhin V. V., Maslov E. F. [Main problems of emergency risk assessment methodology]. *Pozharovzryvobezopasnost – Fire and Explosion Safety* 2016;25(2):5–9. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.5-9. (in Russ.)

6. Lisanov M.V, Pecherkin A.S., Sumskey S.I., Shvyryayev A.A. Methodical ware and issues of emergency risk analysis at dangerous industrial facilities of the oil-and-gas complex. *Gas Science Bulletin* 2017;1(29):179-184. (in Russ.)

7. Lisanov M.V, Sumskey S.I., Shvyryayev A.A. Uncertainties of the quantitative emergency risk assessment at oil-gas facilities. *Gas Science Bulletin* 2018;2(34):125-135. (in Russ.)

8. [Methodology for assessing the technical state of the essential process equipment and power transmission lines of power plants and electric grids]. Approved by the Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated July 26, 2017 No. 676. (in Russ.)

9. [Methodological guidelines for calculating the probability of failures of a functional unit and a unit of basic process equipment and assessing the consequences of such failures]. Approved by Order No. 123 of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated February 19, 2019. (in Russ.)

10. V Research and practical conference “Equipment condition monitoring of power engineering facilities”. *ELECTRIC POWER. Transmission and distribution* 2019;1(52):18-21 (accessed: 27.12.2024). Available at: <https://eepir.ru/article/v-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-kontroly-tehnicheskogo-sostoyaniya-oborudovaniya-obyektov-elektroenergetiki/>. (in Russ.)

11. Modern Digital Technologies Used for Monitoring and Estimation of Power Object Technical Condition. *ELECTRIC POWER. Transmission and distribution* 2020;1(58):18-26 (accessed: 27.12.2024). Available at: <https://eepir.ru/new/obzor-dokladov-vi-nauchno-prakticheskoy-konferencii-kontroly-tehnicheskogo-sostoyaniya-i-obnarugenie-mest-povregdeniy-oborudovaniya-podstanciy-vozdushnyh-i-kabelnyh-linij/>. (in Russ.)

12. Fedorets A.G. [Using the modern risk management methodology in occupational health and safety management systems]. *Bezopasnost i okhrana truda* 2018;1:1-18. (in Russ.)

13. Antonenko I.N. [Analysing the risk-based approach to physical asset management]. *Industrial Power Engineering* 2020;10:57-60. (in Russ.)

14. Farkhadzade E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A., Nazarov A.A. Automated Analysis of Service Life of Air-Lines of the Electricity Transmission of Electric Power Systems. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 2021;64(5):435-445. DOI: 10.21122/1029-7448-2021-64-5-435-445. (in Russ.)

15. Farkhadzade E.M., Muradaliyev A.Z., Muradaliyev S.A., Nazarov A.A. Assessment of technical condition of high-voltage overhead power transmission lines at the stage of their ageing. *Safety and Reliability of Power Industry* 2021;14(2):100-107. (in Russ.)

16. Farkhadzade E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A. et al. [Quantitative estimation of the operating reliability of aerial power lines]. *Elektricheskiye stantsii* 2021;2:28-34. DOI: 10.34831/EP.2021.1081.8.004. (in Russ.)

17. Farkhadzade E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A. Estimation, comparison and ranking of operational reliability indicators of overhead transmission lines of electric power systems. *Reliability: Theory & Applications* 2021;4(65):186-197. DOI: 10.24412/1932-2321-2021-465-186-196.

18. Farkhadzade E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A. Quantitative analysis of the operational reliability of overhead lines. *Operativnoye upravlenie v elektroenergetike* 2021;5:16-24. (in Russ.)

19. Farkhadzade E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A. Improving of the operational management of the efficiency of distribution networks. *Industrial Power Engineering* 2021;12:16-23. DOI: 10.34831/EP.2021.77.85.002. (in Russ.)

Сведения об авторах

Фархадзаде Эльмар Мехтиевич, д.т.н., профессор. В 1961 году окончил энергетический факультет Азербайджанского института нефти и химии (АЗИНЕФТЕХИМ) г. Баку. В 1982 году защитил докторскую диссертацию по теме «Точность и достоверность характеристик надежности электроустановок» в Новосибирском электротехническом институте (НЭТИ). Главный научный сотрудник АЗНИПИИ Энергетики г. Баку. Область научных исследований – надежность и эффективность электроэнергетических систем.

E-mail: elmeht@rambler.ru Адрес: AZ1012, г. Баку, пр. Г. Зардаби 94

Мурадалиев Айдын Зураб оглу, д.т.н., доцент. В 1982 году окончил энергетический факультет Азербайджанского института нефти и химии (АЗИНЕФТЕХИМ) г. Баку. В 2013 году защитил докторскую диссертацию по теме «Разработка методов и алгоритмов расчета показателей индивидуальной надежности оборудования и устройств ЭЭС». Ведущий научный сотрудник отдела «Надежность оборудования энергосистемы» АЗНИПИИ Энергетики г. Баку. Область научных исследований – количественная оценка индивидуальной надежности оборудования и устройств электроэнергетических систем.

E-mail: aydin_murad@yahoo.com. Адрес: AZ1012, г. Баку, пр. Г. Зардаби 94

Абдуллаева Самира Афган кызы, к.т.н. В 1990 году окончила энергетический факультет Азербайджанского института нефти и химии (АЗИНЕФТЕХИМ) г. Баку. В 2018 году защитила кандидатскую диссертацию. Старший научный сотрудник отдела «Надежность оборудования энергосистемы» Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского института энергетики, г. Баку.

About the authors

Elmar M. Farkhadzade, Doctor of Engineering, Professor. In 1961, he graduated from the Energy Faculty of the Azerbaijan Institute of Oil and Chemistry (AzINEFTEKHIM) in Baku. In 1982, he defended his doctoral dissertation on the 'Accuracy and reliability characteristics of electrical installations' in the Novosibirsk Electrotechnical Institute (NETI). Chief scientific officer of AzNIPPI Energetics in Baku. His field of research is dependability and efficiency of electrical power systems.

E-mail: elmeht@rambler.ru Address: AZ1012, Baku, 94 G. Zardabi Ave.

Aydin Z. Muradaliyev, Doctor of Engineering, Associate Professor. In 1982, he graduated from the Energy Faculty of the Azerbaijan Institute of Oil and Chemistry (AzINEFTEKHIM) in Baku. In 2013, he defended his doctoral thesis titled 'Development of methods and algorithms for calculating the indicators of individual reliability of equipment and devices of EES'. Lead researcher, Dependability of Power System Equipment, AzNIPPI Energetika, Baku. His field of research is quantitative estimation of individual dependability of equipment and devices of electrical power systems.

E-mail: aydin_murad@yahoo.com. Address: 94 G. Zardabi Ave.

Samira A. Abdullayeva, Candidate of Engineering. In 1990, she graduated from the Faculty of Energy of the Azerbaijan Institute of Oil and Chemistry (AzINEFTEKHIM), Baku. In 2018, she defended her PhD thesis. Senior Researcher, Dependability of Power System Equipment, Azerbaijan Research and Design and Survey Institute of Power Engineering, Baku.

Вклад авторов в статью

Фархадзаде Э.М. – обоснование актуальности исследования, Постановка цели решаемой задачи и разработка методики исследования.

Мурадалиев А.З. – Анализ источников информации, Разработка алгоритмов и программного обеспечения решаемой задачи. Обсуждение промежуточных результатов. Подготовка материалов к публикации.

Абдуллаева С.А. – Анализ источников информации. Проведение расчетов и обсуждение промежуточных результатов. Оформление целостности статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.