

Электронный научный журнал «Век качества» ISSN 2500-1841 <http://www.agequal.ru>

2022, №3 http://www.agequal.ru/pdf/2022/AGE_QUALITY_3_2022.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:

Казымов И.М., Боярков Д.А., Компанеев Б.С. Подходы к определению величины экономического ущерба и рисков выхода из строя оборудования электроэнергетики // Электронный научный журнал «Век качества». 2022. №3. С. 150-162. Режим доступа: <http://www.agequal.ru/pdf/2022/322008.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 338

Подходы к определению величины экономического ущерба и рисков выхода из строя оборудования электроэнергетики

Казымов Иван Максимович,

*старший преподаватель кафедры «Электрификация производства и быта»,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Россия, г. Барнаул, проспект Ленина, 46
bahek1995@mail.ru*

Боярков Дмитрий Андреевич,

*старший преподаватель кафедры «Электрификация производства и быта»,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Россия, г. Барнаул, проспект Ленина, 46
dmitrij.bojarkov@gmail.com*

Компанеев Борис Сергеевич,

*кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта»,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Россия, г. Барнаул, проспект Ленина, 46
kompbs@mail.ru*

В статье представлен анализ применяемого в настоящее время риск-ориентированного подхода к организации ремонта и технического обслуживания оборудования в компаниях электросетевого комплекса. В рамках статьи рассматриваются подходы к уточнению получаемых при использовании риск-ориентированного подхода результатов в части ущербов от наступления неблагоприятных событий за счёт рассмотрения дополнительных источников экономического ущерба, связанных с выходом из строя смежных элементов и оборудования. Описываются причины и последствия возникновения непрогнозируемых при использовании стандартных подходов перерывов электроснабжения, определяется круг

организаций, на финансовые показатели которых напрямую или косвенно влияет ущерб от возникновения перерыва электроснабжения. Ставится проблема наличия неконтролируемых факторов, приводящих к негативным последствиям развития аварий в электроэнергетике, увеличивающих общий ущерб от выхода из строя оборудования и расширяющих зону охвата аварийной ситуации. В процессе исследования даётся экономическая оценка результативности подходов к решению поставленной проблемы. Рассматриваются вопросы учёта ущерба от наступления дополнительных зависимых событий в ходе развития аварийной ситуации в электроэнергетике. Формулируются особенности применения риск-ориентированного подхода к организации ремонта и технического обслуживания в предприятиях энергетики. Предлагается и обосновывается оригинальный подход к определению величины прямого и косвенного экономического ущерба, а также риска выхода из строя энергетического оборудования. На примере демонстрируется применимость и практическая значимость достигнутых в ходе исследования результатов. Определяется сфера использования полученных результатов, обозначаются дальнейшие направления проведения исследований на рассмотренную тему.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход, ремонт оборудования, экономический ущерб; электросетевая компания; розничный рынок электроэнергии; оценка ущерба, недоотпуск электроэнергии.

На сегодняшний день электроэнергетическая отрасль переходит на риск-ориентированный подход к определению фактической потребности в проведении технического обслуживания и/или ремонта [1, 2, 3]. Такой подход предполагает использование двухпараметрической модели представления риска как произведения вероятности выхода из строя некоторой единицы оборудования на ущерб, возникающий при данном выходе из строя. Причём ущерб от выхода из строя предполагает в распространённых в настоящее время моделях совокупность двух статей убытков: недоотпуск электрической энергии и затраты на восстановление вышедшего из строя оборудования [4, 5].

Применение риск-ориентированного подхода оправдано и приводит к значимым результатам, обуславливающим снижение частоты возникновения аварий в электроэнергетике за счёт снижения удельной частоты выхода оборудования из строя [6, 7]. Однако для корректного использования подхода требуется точное определение величин экономического ущерба от выхода из

строения оборудования с целью создания максимально отвечающих действительности экономических моделей. Причём существующие методики определения рисков не отличаются полнотой оценки последствий от выхода оборудования из строя, в связи с чем возникает ситуация, в которой возможна недооценка предполагаемого ущерба от выхода оборудования из строя, связанная с неполным учётом возможных последствий, что, в свою очередь, приводит к неверному планированию, и, в конечном счёте, к значительным финансовым и репутационным убыткам при реализации рисков, связанных с выходом из строя оборудования и/или возникновением перерыва в электроснабжении потребителей.

Основной причиной недооценки составляющей ущерба, представляющей затраты на восстановление оборудования, является отсутствие учёта возможного выхода из строя оборудования, находящегося в непосредственной близости и/или связанного с вышедшим из строя оборудованием прямо или косвенно. Такой подход не учитывает возможное развитие возникшей аварии и поэтому не может считаться в полной мере отражающим действительность.

Учёт затрат, связанных с недополученной прибылью, вызванной недоотпуском электроэнергии, в настоящее время является единственным косвенным видом ущерба от выхода оборудования из строя ввиду сложившейся ситуации в отрасли, когда для конечных потребителей не представляется возможным получить компенсацию за убытки, понесённые вследствие нарушения режима электроснабжения [8].

Стоит отметить, что затраты, связанные с недоотпуском электрической энергии, несут также и другие субъекты рынка электрической энергии – гарантирующие поставщики и предприятия – производители электрической энергии. Причём с учетом структуры цены на электрическую энергию основной ущерб приходится на генерирующие компании (порядка 60% от стоимости электрической энергии приходится на стоимость непосредственно произведённой электрической энергии и порядка 30% на услуги по её передаче

– для тарифов высокого напряжения (ВН), для других тарифов пропорция меняется в сторону увеличения составляющей стоимости услуг по передаче электроэнергии).

Однако наибольшие затраты от перерыва электроснабжения несут конечные потребители, в особенности промышленные, причём ущерб возрастает с ускорением в начальные несколько часов перерыва электроснабжения (остановка технологических процессов).

На основании вышеизложенного становится очевидно, что нарушение режима электроснабжения приносит значительный ущерб как компаниям электросетевого комплекса, так и организациям–потребителям, в особенности предприятиям реального производственного сектора.

Конечной целью является сокращение числа часов перерыва электроснабжения, которой возможно достигнуть за счёт применения риск-ориентированного подхода к определению очередности выполнения технического обслуживания и ремонта оборудования с учётом степени ответственности как конкретных единиц оборудования, так и потребителей электрической энергии. При этом для повышения практической значимости подхода следует учитывать возможные негативные последствия развития возникающих аварий в электроэнергетике, приводящих к дополнительным ущербам, связанным с необходимостью расширения перечня оборудования, подлежащего ремонту, и увеличения времени перерыва электроснабжения (возникновения перерыва электроснабжения других потребителей).

Для учёта ненулевой вероятности развития аварии и выхода из строя других объектов энергетики потребуется расширить классическую формулу (1) определения риска R в денежном выражении [9, 10]:

$$R = P \cdot Z, \quad (1)$$

где P – вероятность наступления события (в данном контексте понимается вероятность выхода из строя определённого оборудования);

Z – затраты (ущерб) от наступления события.

Для учёта затрат потребуется определить две основные статьи:

- прямые затраты, связанные с необходимостью выполнения ремонта оборудования с целью восстановления его работоспособности;
- косвенные затраты, связанные с недоотпуском электроэнергии и возникающим вследствие этого ущербом;
- вероятные прямые (непосредственно связанные с восстановлением оборудования) и косвенные (связанные с восстановлением оборудования, не участвующего в электроснабжении данного потребителя).

Таким образом, с учётом предлагаемых изменений формулу (1) можно представить в виде (2):

$$R = P \cdot (Z_p + Z_n + \sum_{i=1}^n (P_i \cdot Z_i)), \quad (2)$$

где P – вероятность выхода из строя рассматриваемого оборудования;

Z_p – затраты на ремонт рассматриваемого оборудования;

Z_n – ущерб от недоотпуска электроэнергии на время восстановления рассматриваемого оборудования;

n – число возможных событий с ненулевой вероятностью, наступление которых вызвано выходом из строя рассматриваемого оборудования;

P_i – вероятность наступления события i , произошедшего вследствие выхода из строя рассматриваемого оборудования;

Z_i – ущерб, понесённый при наступлении события i , произошедшего вследствие выхода из строя рассматриваемого оборудования.

Из анализа формулы (2) видно, что финансовые потери от возможного наступления сопутствующих основному событиям могут быть соизмеримы или превышать таковые от выхода из строя оборудования, в связи с чем становится возможным сделать вывод о необходимости учёта вероятных последствий выхода оборудования из строя.

Основой предлагаемого подхода является тот факт, что процесс развития аварии в электроэнергетике после её возникновения является неконтролируемым и зависит от многих не связанных между собой напрямую факторов, в том числе человеческого. В связи с этим определение риска выхода из строя оборудования без учёта возможных последствий является некорректным подходом.

Рассмотрим реализацию предлагаемого подхода на примере. Исходные данные приводятся в таблице 1. Стоит отметить, что вероятность наступления для всех событий, кроме базового, является условной и подразумевается как вероятность наступления события непосредственно вследствие наступления базового события.

Таблица 1

Исходные данные для расчёта суммарного риска выхода оборудования
из строя

№ п/п	Наименование события	Вероятность наступления	Затраты на восстановление, тыс. руб.	Ущерб от недоотпуска электроэнергии, тыс. руб.	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	Выход из строя выключателя отходящей линии	0,00100	20,0	500,0	Базовое событие
2	Выход из строя соседнего выключателя	0,00100	20,0	500,0	
3	Выход из строя сборных шин	0,00010	100,0	5 000,0	
4	Выход из строя вводного выключателя	0,00030	30,0	2 000,0	
5	Выход из строя трансформатора	0,00005	10 000,0	15 000,0	
6	Выход из строя линии, питающей трансформатор	0,00001	600,0	25 000,0	

Исходя из приведённой формулы (2), получим, что суммарный риск выхода из строя выключателя отходящей линии, питающей одно присоединение, составляет:

$$R = 0,001 \cdot (20 + 500 + 2 \cdot 0,001 \cdot (20 + 500)) + 0,0001 \cdot (100 + 5000) + 0,0003 \cdot (30 + 2000) + 0,00005 \cdot (12000 + 15000) + 0,00001 \cdot (600 + 25000) = 0,5232.$$

В то же время значение, получаемое базовым методом по формуле (1), будет составлять $R = 0,520$. Таким образом, различие результатов, получаемых при использовании базового и предлагаемого подходов, составляет 0,624%.

Незначительное в относительных единицах может, однако, привести к значительным экономическим потерям при реализации рисков, имеющих ненулевую вероятность, как видно из таблицы 1.

Продемонстрированная на примере продуктивность предлагаемого подхода свидетельствует о необходимости учёта возможных последствий развития аварии в электроэнергетике для корректного составления экономических моделей в риск-ориентированных системах управления состоянием оборудования. Также данный подход может использоваться в целях оценки целесообразности проведения глубокой модернизации или замены оборудования в рамках подготовки и реализации инвестиционных проектов, направленных на значительное повышение эффективности и рентабельности деятельности электросетевых компаний [11, 12].

Стоит отметить, что с повышением точности двухпараметрической модели финансового риска выхода из строя оборудования появляется возможность для составления средне- и долгосрочных планов ремонта и модернизации оборудования с учётом инфляционных ожиданий и дисконтирования затрат. Этот подход является наиболее эффективным для определения приоритетности несения затрат на выполнение ремонтов по причине создания возможности для оценки результативности понесённых затрат в перспективе, тогда как существующие методы предполагают проведение оценки состояния оборудования (на основании полученных значений риска выхода из строя) без учёта естественных экономических процессов, что говорит о недалёковидности такого подхода.

Риск-ориентированный подход позволяет определить очерёдность выполнения ремонта, и в конечном счёте данный подход является решением задачи оптимизации затрат электросетевой компании, подразумевающим снижение риска выхода из строя оборудования в основном за счёт снижения вероятности наступления такого события (ремонт и техническое обслуживание) и реже за счёт снижения ущерба от выхода из строя оборудования (выполнение

модернизации и резервирование электроснабжения потребителей) [11]. Оба этих исхода позитивно отражаются на экономической обстановке в зоне работы электросетевой компании, применяющей риск-ориентированный подход к организации ремонтов и технического обслуживания, что в конечном итоге отражается на финансовых результатах организаций, задействованных в цепочках поставки электрической энергии.

Полученные в данном исследовании результаты могут быть использованы организациями сферы электроэнергетики в ходе основной хозяйственной деятельности с целью выполнения планирования ремонтов в части составления ремонтных программ: как краткосрочных, так и средне- и долгосрочных, а также в планировании инвестиционных проектов. Положительный результат применения предложенного подхода заключается в более точном определении приоритетов, что снизит вероятность наступления неблагоприятных неучтённых событий, связанных с возникновением и развитием аварийных ситуаций.

Также полученные результаты могут быть использованы для продолжения исследований на тему развития риск-ориентированного управления и повышения экономической эффективности предприятий энергетического сектора, в особенности компаний, оказывающих услуги по передаче электрической энергии ввиду сложившегося положения в отрасли, согласно которому электросетевая компания несёт финансовые риски за убытки, нанесённые конечным потребителям по причине нарушения условий электроснабжения [8, 10].

Список литературы

1. Кучерявенков, А.А. Адаптированная риск-ориентированная система мониторинга и управления воздушных и кабельных линий / А.А. Кучерявенков // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 1(58). – С. 70-73.
2. Bao Y., Wang Y., Huang G., Xia J., Chen J., Guo C. Impact of human error on electrical equipment preventive maintenance policy // 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting. IEEE, 2015. – С. 1-5.
3. Боярков, Д.А. Алгоритм риск-ориентированного управления техническим состоянием электрических сетей / Д.А. Боярков, А.В. Яценко // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 1. – С. 56-60. – DOI 10.25728/avtprom.2022.01.12.
4. Заякина, А.В. Трансформация риск-менеджмента в инвестиционных проектах электроэнергетики Казахстана / А.В. Заякина // Актуальные вопросы научных исследований: сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции, Иваново, 15 марта 2017 г. – Иваново: Индивидуальный предприниматель Цветков Алексей Александрович, 2017. – С. 37-39.
5. Szóke, T. Price regulation and supplier margins in the Hungarian electricity markets / T. Szóke, O. Hortay, R. Farkas // Energy Economics. – 2021. – Vol. 94. – P. 105098. – DOI 10.1016/j.eneco.2021.105098.
6. Салько, М.Г. Риск-ориентированный подход к управлению цифровой трансформации предприятий электроэнергетики / М.Г. Салько, Т.В. Малютина // Финансовый бизнес. – 2021. – № 9(219). – С. 150-155.
7. Воропай Н.И., Негневицкий М., Томин Н.В. [и др.] Интеллектуальная система для предотвращения крупных аварий в энергосистемах // Электричество. – 2014. – № 8. – С. 19-31.
8. Забелло, Е.П., Евсеев, А.Н. Юридические аспекты взаимоотношений гарантирующего поставщика и потребителя в точках поставки электрической энергии // Промышленная энергетика. – 2011. – № 6. – С. 13-17.

9. Иванов, С.О. Риск-ориентированное моделирование системы безопасности в электроэнергетике / С.О. Иванов, М.В. Никандров // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы XI всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 08 июня 2018 г. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2018. – С. 484-487.

10. Городничев, С.В. Финансовые риски и риск-менеджмент в электроэнергетике / С.В. Городничев, А.В. Крылова // Вестник Тульского филиала Финуниверситета. – 2015. – № 1. – С. 26-28.

11. Яценко, А.В. Экономико-финансовая оценка целесообразности проведения мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций в электроэнергетике / А.В. Яценко, И.М. Казымов, Б.С. Компанеец // Финансовый бизнес. – 2022. – № 2(224). – С. 165-169.

12. Яценко, А.В. Оценка эффективности инвестиций в развитие электроэнергетики в условиях конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности / А.В. Яценко, И.М. Казымов, Б.С. Компанеец // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 3-1. – С. 147-154. – DOI 10.17513/vaael.2110.

Approaches to determining the value of economic damage and risks of failure of power industry equipment

Kazymov Ivan Maksimovich,
*Senior Lecturer of the Department of «Electrification of Production and Life»,
Altai State Technical University named I. I. Polzunov,
656038, Russia, Barnaul, Lenina Avenue, 46,
bahek1995@mail.ru*

Boyarkov Dmitry Andreevich,
*Senior Lecturer of the Department of «Electrification of Production and Life»,
Altai State Technical University named I. I. Polzunov,
656038, Russia, Barnaul, Lenina Avenue, 46,
dmitrij.bojarkov@gmail.com*

Kompaneets Boris Sergeevich,
*Ph. D. (Engineering), Associate Professor,
Head of the Department of «Electrification of Production and Life»,
Altai State Technical University named I. I. Polzunov,
656038, Russia, Barnaul, Lenina Avenue, 46,
kompbs@mail.ru*

The article presents an analysis of the currently used risk-based approach to the organization of repair and maintenance of equipment in electric grid companies. Within the framework of the article, approaches are considered to refine the results obtained using the risk-based approach in terms of damages from the occurrence of adverse events by considering additional sources of economic damage associated with the failure of adjacent elements and equipment. The causes and consequences of the occurrence of power outages that are unpredictable when using standard approaches are described, the circle of organizations whose financial performance is directly or indirectly affected by the damage from the occurrence of a power outage is determined. The problem of the presence of uncontrollable factors leading to the negative consequences of the development of accidents in the electric power industry, increasing the overall damage from equipment failure and expanding the coverage area of the emergency is posed. In the course of the study, an economic assessment of the effectiveness of approaches to solving the problem is given. The issues of accounting for damage from the occurrence of additional dependent events during the development of an emergency in the electric power industry are considered. The features of the application of a risk-based approach to the organization of repair and maintenance in energy enterprises are formulated. An original approach to determining the magnitude of direct and indirect economic damage, as well as the risk of failure of power equipment, is proposed and justified.

The example demonstrates the applicability and practical significance of the results achieved during the study. The scope of the use of the obtained results is determined, further directions for conducting research on the topic under consideration are indicated.

Keywords: risk-based approach, equipment repair, economic damage; electric grid company; retail electricity market; damage assessment, undersupply of electricity.