

УДК 658.26:8.338.008

Исследование воздействия угроз энергетической безопасности на электроэнергетическую систему региона на основе теории анализа рисков

В.А. Савельев, В.В. Батаева
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: bataewa.v@yandex.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Российскими учеными предложено несколько подходов к оценке региональной энергетической безопасности: метод анализа иерархий, метод нечетких множеств и индикативный анализ. Первые два метода сфокусированы на решении проблем конкретных регионов, их специфике и особенностях, что затрудняет их адаптацию. Последний получил наибольшее практическое приложение из-за своей простоты и универсальности. Однако эти свойства приводят в ряде случаев к существенному искажению результатов в силу неучтенности атомной энергетики, возобновляемых источников энергии, а также специфических условий функционирования региональных электроэнергетических систем. Теория рисков для оценки энергетической безопасности государства была предложена МЭА. Однако эта методика не применима к оценке ситуации в регионах России, потому что она ориентирована на макроэкономические показатели на уровне государства, а перечень угроз и особенности обеспечения энергетической безопасности в региональном разрезе совсем иные. В связи с этим необходимо повысить достоверность результатов оценки на региональном уровне в части воздействия угроз энергетической безопасности на электроэнергетическую систему региона с учетом специфических особенностей ее функционирования.

Материалы и методы: Исследования проведены на основе теории анализа и управления рисками сложных технических систем, а также теории надежности. Данные методы относительно поставленной задачи в отечественной науке применяются впервые.

Результаты: Получены оценки риска снижения энергетической безопасности в ряде регионов МРСК Центра. Выполнен анализ степени влияния угроз энергетической безопасности на электроэнергетические системы этих регионов с учетом их особенностей. Выявлены основные направления мероприятий по ограничению риска снижения энергетической безопасности в рассматриваемых субъектах.

Выводы: Полученные оценки являются более точными, поскольку при их получении учтены факторы, приводящие к искажению в наиболее распространенном методе. Предлагаемая методика позволяет определить конкретные направления мероприятий для повышения региональной энергетической безопасности, учитывая специфические условия функционирования региональных электроэнергетических систем, что не обеспечивают существующие подходы.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, теория риска, регионы, угрозы, электроэнергетическая система.

A study of the impact of threats to energy security on the electric power system of a region according to the risk analysis theory

V.A. Savelyev, V.V. Batayeva
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: bataewa.v@yandex.ru

Abstract

Background: Russian scientists have proposed several approaches to evaluation of regional energy security: analytic hierarchy process, fuzzy sets and indicative analysis. The first two methods are focused on solving problems in certain regions, their special features and characteristics, which complicates their adaptation. The third method has been widely applied because of its simplicity and universal acceptance. However, these properties lead in some cases to a significant distortion of results, as they do not account for nuclear energy, renewable energy, and specific functioning conditions of regional power systems. The risk theory for assessing the energy security of the state was proposed by the IEA. However, this technique is not applicable to the assessment of the situation in the regions of Russia, because it focuses on the macroeconomic indicators at the state level, and the list of threats and characteristics of energy security in the regional context are quite different. The purpose of the study is to increase the validity of evaluation results at the regional level, including the impact of threats to energy security on the electric power system in the region, taking into account the peculiarities of its functioning.

Materials and methods: Investigations were carried out on the basis of the analysis theory and risk management of complex technical systems and theory of reliability. These methods have been applied to solving such problem for the first time.

Results: We have estimated the risks of reducing energy security in some regions of the IDGC of Centre and analysed the effect of threats to energy security on the electricity systems of these regions taking into account region-specific parameters. We have also identified the main directions of the measures aimed at limiting the risk of reducing energy security in these regions.

Conclusions: The estimates we have made are more accurate as they account for the factors causing distortions in the most common method. The proposed method allows us to identify specific areas of activities to enhance regional energy security, accounting for the specific conditions of regional power systems functioning, which the existing methods are unable to do.

Key words: energy security, risk theory, regions, threats, electric power system.

DOI: 10.17588/2072-2672.2017.5.019-027

Введение. Энергетическая безопасность (ЭБ) – состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества в нормальных условиях и при чрезвычайных обстоятельствах, а также от нарушений стабильности, бесперебойности топливо- и энергоснабжения [1]. При этом в качестве топливно-энергетических ресурсов рассматриваются: уголь, газ, мазут, электрическая и тепловая энергия.

ТЭК России обладает специфическими свойствами как на региональном, так и на федеральном уровне. Стратегия обеспечения энергетической безопасности объединяет все функциональные характеристики ТЭК и должна строиться с учетом наиболее полной реализации его производственных возможностей. Это касается и электроэнергетики. Так как энергетическая безопасность относится, прежде всего, к потребителям, то состав и решение основных проблем должны определяться на местах.

Сегодня известно несколько методов оценки региональной ЭБ: метод анализа иерархий [2, 3], теория нечетких множеств [4, 5] и индикативный анализ [6]. Однако практическое применение получил лишь последний из перечисленных методов. Многочисленные расчеты, проведенные этим методом, выявили следующие его недостатки:

- предлагаемые 8 индикаторов, описывающих ТЭК региона, не являются универсальными для всех регионов и не дают полного представления о складывающейся ситуации;
- не учтена эффективность производства, передачи, распределения и потребления ТЭР;
- не учтены виды станций, работающих на не традиционном виде топлива (АЭС, ГЭС и ВИЭ и др.);
- весовые коэффициенты, используемые для задания важности индикато-

ров в общей системе оценки, не универсальны;

- влияние отдельных угроз оценивается без учета их взаимовлияния;

- необходимо привлечение экспертной оценки на всех стадиях анализа.

Перечисленные недостатки в ряде случаев приводят к существенному искажению результатов оценки.

Так как электроэнергетика играет ключевую роль в ТЭК любого региона и ее нормальное функционирование имеет определяющее значение для обеспечения энергетической безопасности, то принято решение основное внимание уделить оценке влияния угроз ЭБ на функционирование и развитие электроэнергетической системы региона.

В связи с вышесказанным необходимо исследования по разработке и развитию методики оценки энергетической безопасности в области электроэнергетики на региональном уровне в комплексном взаимодействии с показателями ЭБ регионального ТЭК в целом.

Расчеты для реальных электроэнергетических систем осложняются тем, что они обладают большой степенью резервирования и существенной неопределенностью, касающейся как вероятности возникновения негативных событий, так и их последствий.

Методы исследования. Теория рисков для оценки энергетической безопасности государства была предложена Международным энергетическим агентством. Однако эта методика не применима к оценке ситуации в регионах России. Для оценки уязвимости ЭЭС региона к воздействию угроз ЭБ впервые предлагается применить теорию риска сложных технических систем [7].

Любой риск характеризуется вероятностью некоторого негативного события и ущербом, который это событие может нанести. Так как угроза, как и риск, существует всегда, то отпадает необходимость определения вероятности возникновения негативного события. Ущерб, который мо-

жет причинить рассматриваемая угроза ЭБ, в современных условиях функционирования ЭЭС регионов характеризуется локальным риском ЭБ. Процедура анализа риска снижения энергетической безопасности представлена на рисунке и проводится в шесть этапов.

Этап 1. Комплексный анализ ТЭК региона: на наличие топливных месторождений, состав генерирующих мощностей, состояние основных производственных фондов предприятий ТЭК, электрических сетей и межсистемных связей с другими регионами, наличие магистральных газо- и нефтепроводов и нефтеперерабатывающих производств, топливно-энергетические балансы, состав и особенности потребителей территории.

Этап 2. Математически формализованное описание ЭЭС региона, отражающее ее специфические черты, составленное на основе собранной на предыдущем этапе информации.

Этап 3. Выявление наиболее существенных угроз ЭБ региона – качественно оцениваются локальные риски ЭБ.

Этап 4. Количественная оценка локальных рисков. Составляется матрица уязвимости ЭБ региона к реализации локальных рисков.

Этап 5. Составление карты локальных рисков. Выявляются наиболее проблемные места в энергетической безопасности региона.

Этап 6. Расчет общего индекса риска, который и определяет интегральный риск

снижения ЭБ региона от воздействия угроз ЭБ на ЭЭС.

При анализе ЭЭС региона представляется как техническая система, состоящая из совокупности предприятий, объектов и установок для получения, переработки, преобразования, транспорта и распределения электрической энергии. Остальные подсистемы ТЭК рассматриваются как вспомогательные или смежные. Считается, что система выполняет свои функции в полном объеме тогда, когда обеспечено состояние защищенности граждан, общества и экономики региона от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в электрической энергии приемлемого качества, от угроз нарушений бесперебойности электроснабжения [1]. При этом под состоянием защищенности понимается в нормальных условиях обеспечение в полном объеме обоснованных потребностей в электроэнергии, а в экстремальных ситуациях – гарантированное обеспечение минимально необходимого объема.

Источниками исходных данных для анализа служат следующие официальные данные:

- отчеты генерирующих, сетевых, сбытовых компаний, работающих в регионе;
- отчеты системного оператора;
- данные государственных органов статистики;
- топливно-энергетические балансы.



Оценка риска снижения ЭБ региона

Подход реализуется в рамках концепции приемлемого риска [8]. Основные теоретические положения относительно поставленной задачи формулируются следующим образом:

- риск – это мера опасности и ущерба при реализации угрозы ЭБ;
- любому уровню воздействия угрозы соответствует некоторый уровень риска, т.е. уязвимость ЭЭС к воздействию угрозы ЭБ;
- допускается сочетание нескольких источников воздействия;
- локальные риски формируют общий риск снижения ЭБ региона;
- существует некоторый предельно допустимый уровень риска ЭБ;
- уровень приемлемого риска можно установить с учетом экономических, социальных и других условий;
- уровнем риска можно управлять, воздействуя на условия его формирования;
- при превышении допустимого уровня риска велика вероятность существенного ущерба.

Крупномасштабные аварии в электроэнергетике возникают, как правило, при сочетании нескольких негативных событий, в связи с этим выделить одну конкретную причину нарушения сложно. Поэтому основная идея подхода заключается в оценке уязвимости ЭЭС при воздействии совокупности угроз ЭБ, реализующихся с различной степенью интенсивности.

Для этого рассматриваются шесть локальных рисков энергетической безопасности региона. В табл. 1 приведены рас-

считываемые риски ЭБ региона и условия их формирования.

Результаты исследования. Предлагаемый подход был применен для оценки риска снижения энергетической безопасности ряда регионов МРСК Центра. В качестве анализируемого периода принят 2016 год. В табл. 2 приведены результаты расчетов в сопоставлении их с оценкой методом индуктивного анализа за тот же период.

Математический аппарат, используемый для оценки, представлен в [9].

Для большинства регионов европейской части России свойственен риск топливообеспечения электроэнергетики региона. Он обусловлен острой зависимостью от поставок газа и существенным перекосом в его сторону в топливно-энергетическом балансе. Для Белгородской, Владимирской и Брянской областей этот риск ограничен, так как через территорию этих регионов проходят несколько мощных ниток газопроводов и можно говорить о более высокой надежности поставок газа. Риск достаточности электроэнергии ограничен для Белгородской, Владимирской и Брянской областей высокой пропускной способностью межсистемных связей этих регионов при условии обеспечения необходимой надежности этих связей. Риск эффективности производства и распределения электроэнергии реализуется в рассматриваемых регионах с различной интенсивностью в зависимости от состояния сетей и коэффициента использования установленной мощности станций и вносит различный вклад в общий риск снижения энергетической безопасности.

Таблица 1. Локальные риски ЭБ региона

№	Определение риска	Условия формирования
1	Риск топливообеспечения электроэнергетики	Формируется зависимостью от поставок углеводородов извне с учетом равномерности ТЭБ региона и степени диверсификации путей доставки топлива
2	Риск достаточности электроэнергии	Формируется степенью независимости от поставок электроэнергии из смежных систем в сочетании с состоянием межсистемных связей региона и возможностью резерва из системы
3	Риск эффективности производства и распределения электроэнергии	Формируется величиной коэффициента использования установленной мощности электростанций региона с учетом потерь в сетях и долей среднедушевого дохода, затрачиваемых на оплату электроэнергии
4	Риск структурной надежности электроэнергетики	Формируется степенью концентрации генерирующей мощности и состоянием региональных распределительных сетей
5	Риск электроснабжения потребителей	Формируется продолжительностью отключения потребителей в анализируемом периоде и отношением недопоставленной энергии к общему потреблению
6	Риск состояния ОПФ электроэнергетики региона	Формируется износом ОПФ и скоростью их обновления

Таблица 2. Оценки риска снижения энергетической безопасности ряда регионов МРСК Центра

Регион	Индикативный анализ	Индекс риска	Особенности функционирования ЭЭС региона	Качественная оценка ситуации
Белгородская область	Кризисный уровень ЭБ	800	Полная зависимость электроэнергетики от поставок газа при существенной его доле в балансе – более 90 % и существенной диверсификации путей доставки. Низкое удовлетворение электроэнергией из собственных источников в сочетании с высоким износом межсистемных связей. Средний износ ОПФ энергетики, отсутствие обновления	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – обеспечения надежной работы межсистемных связей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования; – введения новых генерирующих мощностей на твердом топливе
Владимирская область	Кризисный уровень ЭБ	834	Полная зависимость электроэнергетики от поставок газа при существенной его доле в балансе – более 90 % и существенной диверсификации путей его доставки. Низкое удовлетворение электроэнергией из собственных источников в сочетании с высоким износом межсистемных связей и достаточной их пропускной способностью	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – обеспечения надежной работы межсистемных связей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования; – введения новых генерирующих мощностей на твердом топливе
Калужская область	Кризисный уровень ЭБ	841	Полная зависимость электроэнергетики от поставок топлива при существенной доле газа в балансе – более 90 % и слабой диверсификации путей его доставки. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и низкая скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – увеличения надежности поставок газа в регион, повышения диверсификации его доставки; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования
Смоленская область	Кризисный уровень ЭБ	856	Низкий коэффициент использования установленной мощности станций региона, существенные потери в электрических сетях, чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. (В регионе действует Смоленская АЭС.)	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – контроля за состоянием сетей; – повышения эффективности распределения электроэнергии
Липецкая область	Предкризисный уровень ЭБ	926	Полная зависимость электроэнергетики от поставок топлива. Нехватка генерирующих мощностей для покрытия нагрузки региона. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и недостаточная скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – обеспечения надежности поставок всех видов топлива в регион; – введения новых генерирующих мощностей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования
Воронежская область	Кризисный уровень ЭБ	958	Низкий коэффициент использования установленной мощности станций региона, существенные потери в электрических сетях, чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. (В регионе действует Нововоронежская АЭС.)	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – контроля за состоянием сетей; – повышения эффективности распределения электроэнергии
Тульская область	Предкризисный уровень ЭБ	966	Чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и низкая скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – контроля за состоянием сетей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования

Регион	Индикативный анализ	Индекс риска	Особенности функционирования ЭЭС региона	Качественная оценка ситуации
Тверская область	Предкризисный уровень ЭБ	979	Низкий коэффициент использования установленной мощности станций региона, существенные потери в электрических сетях, чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и низкая скорость обновления. (В регионе действует Калининская АЭС.)	Риск снижения энергетической безопасности допустим при условиях: – повышения эффективности производства электроэнергии; – контроля за состоянием наиболее крупного генерирующего источника и региональных распределительных сетей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования
Тамбовская область	Кризисный уровень ЭБ	1004	Низкий коэффициент использования установленной мощности станций региона, существенные потери в электрических сетях, чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и низкая скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности – существенный. Может быть ограничен при условиях: – повышения эффективности производства и распределения электрической энергии; – контроля за состоянием региональных распределительных сетей; – обновления генерирующих мощностей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования
Рязанская область	Кризисный уровень ЭБ	1026	Полная зависимость электроэнергетики от поставок топлива. Низкий коэффициент использования установленной мощности станций региона, существенные потери в электрических сетях, чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и низкая скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности – существенный. Может быть ограничен при условиях: – повышения эффективности производства и распределения электрической энергии; – контроля за состоянием региональных распределительных сетей и наиболее крупных генерирующих источников; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования
Орловская область	Кризисный уровень ЭБ	1156	Полная зависимость электроэнергетики от поставок газа при существенной его доле в балансе – более 90 % и слабой диверсификации путей доставки. Чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и недостаточная скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности – существенный. Может быть ограничен при условиях: – повышения диверсификации путей поставок газа в регион; – контроля за состоянием наиболее крупного генерирующего источника и региональных распределительных сетей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования
Брянская область	Кризисный уровень ЭБ	1186	Полная зависимость электроэнергетики от поставок топлива при существенной доле газа в балансе – более 90 % и существенной диверсификации путей его доставки. Низкое удовлетворение электроэнергией из собственных источников в сочетании с высоким износом межсистемных связей и достаточной их пропускной способностью. Низкий коэффициент использования установленной мощности станций региона. Чрезмерная концентрация генерирующей мощности при среднем износе распределительных региональных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и низкая скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности – существенный. Может быть ограничен при условиях: – введения новых генерирующих мощностей на твердых видах топлива; – обеспечения надежной работы межсистемных связей; – повышения эффективности производства электроэнергии; – контроля за состоянием наиболее крупного генерирующего источника и региональных распределительных сетей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурс оборудования

Регион	Индикативный анализ	Индекс риска	Особенности функционирования ЭЭС региона	Качественная оценка ситуации
Костромская область	Кризисный уровень ЭБ	1297	Полная зависимость электроэнергетики от поставок газа при существенной его доле в балансе – более 90 % и слабой диверсификации путей его доставки. Низкий коэффициент использования установленной мощности станций региона, большие потери в электрических сетях, чрезмерная концентрация генерирующей мощности при высоком износе распределительных региональных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики и недостаточная скорость обновления	Риск снижения энергетической безопасности – высокий. Может быть ограничен при условиях: – повышения диверсификации путей поставок газа в регион; – повышения эффективности производства электроэнергии; – контроля за состоянием наиболее крупного генерирующего источника и региональных распределительных сетей; – обеспечения контроля за состоянием ОПФ и постепенного обновления отработавшего ресурса оборудования

Риск структурной надежности электроэнергетики специфичен для регионов, на территории которых один крупный генерирующий источник. Это Смоленская, Воронежская, Тверская, Тамбовская, Рязанская, Орловская и Костромская области. Этот риск также может быть ограничен при условии контроля за состоянием наиболее крупного источника электрической энергии и состоянием региональных распределительных сетей. Высокий износ ОПФ электроэнергетики является общей специфической чертой для рассматриваемых регионов. Ситуация по этому показателю отличается в большинстве случаев в зависимости от того, ведется ли обновление ОПФ электроэнергетики региона или нет и в какой степени.

Таким образом, локальные риски, реализуясь с различной интенсивностью, формируют общий риск снижения энергетической безопасности для каждого региона.

По итогам анализа, наименьший риск снижения ЭБ из рассматриваемых субъектов имеет Белгородская область, наибольший – Костромская область.

Предлагаемый подход является более точным инструментом для оценки энергетической безопасности на региональном уровне, так как учтены факторы, приводящие к искажению результатов в наиболее распространенном методе. Кроме того, он дает больше возможностей для сопоставления ситуации в различных регионах друг относительно друга, позволяет выявить направления конкретных мероприятий по повышению энергетической безопасности региона.

Выводы. Предложенный метод имеет ряд существенных преимуществ по

сравнению с известными методами оценки региональной энергетической безопасности:

- вводятся результаты оценки ущерба;
- учитывается взаимовлияние угроз;
- учитывается влияние комбинации угроз различной интенсивности;
- более простой переход от качественной оценки к количественной;
- гибкость и возможность изменения состава и количества рассматриваемых рисков;
- исключена субъективность при задании важности рисков в общей системе ценностей;
- отсутствует необходимость привлечения экспертной оценки на всех этапах анализа.

Список литературы

1. **Энергетическая** безопасность России: проблемы и пути решения / отв. ред. чл.-корр. РАН Н.И. Воропай, М.Б. Чельцов; Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелетьева. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 198 с.
2. **Елохин В.Р., Гасникова А.А.** Анализ основных факторов обеспечения энергетической безопасности Мурманской области // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2005. – № 1(14). – С. 10–15.
3. **Гасникова А.А.** Метод анализа иерархий как средство оценки сценариев развития энергетики региона с точки зрения энергетической безопасности // Теория и практика социально-экономических процессов в регионе: Труды Института экономики Карельского научного центра РАН. Вып. 10. – Петрозаводск, 2006. – С. 176–180.
4. **Мызин А.Л., Мезенцев П.Е.** Исследование отраслевых и региональных проблем формирования энергетической безопасности // Экономика региона. – 2008. – № 3. – С. 82–89.
5. **Анализ** направлений энергосбережения в электроэнергетических системах / П.Е. Мезенцев, А.Л. Мызин, Л.Л. Богатырев, С.С. Ананичева // Материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. «Энергетика:

экология, надежность, безопасность». – Томск: ТПУ, 2003. – С. 27–29.

6. Сендеров С.М., Смирнова Е.М. Методы оценки и анализ уровня энергетической безопасности // Академия энергетики. – 2009. – № 6(32). – С. 30–40.

7. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска // Проблемы анализа риска. – 2008. – Т. 5, № 3.

8. Ковалев Е.Е. Концепция приемлемого риска как основа нормализации медико-экологической ситуации в алтайском крае // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993. – Вып. 6. – С. 3–20.

9. Савельев В.А., Батаева В.В. Оценка влияния угроз на региональную энергетическую безопасность с использованием элементов теории риска // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики / отв. ред. Н.И. Воропай, А.Н. Назарычев. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – Вып. 65. – С. 396–404.

References

1. Voropai, N.I., Chel'tsov, M.B. *Energeticheskaya bezopasnost' Rossii: problemy i puti resheniya* [Energy security in Russia: problems and their solutions]. Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN, 2011. 198 p.

2. Elokhin, V.R., Gasnikova, A.A. Analiz osnovnykh faktorov obespecheniya energeticheskoy bezopasnosti Murmanskoy oblasti [Analysis of the basic factors of ensuring energy security of Murmansk region]. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poriyadka*, 2005, no. 1(14), pp. 10–15.

3. Gasnikova, A.A. Metod analiza ierarkhiy kak sredstvo otsenki stszenariy razvitiya energetiki regiona s tochki zreniya energeticheskoy bezopasnosti [A method of analyzing hierarchies as a means to estimate the scenarios of a region's power system development in terms of energy security]. *Trudy Instituta ekonomiki Karelskogo nauchnogo tsentra RAN «Teoriya i praktika sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov v regione»* [A

collection of works of the Economics Institute of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences «Theory and practice of socio-economic processes in the region»]. Petrozavodsk, 2006, issue 10, pp. 176–180.

4. Myzin, A.L., Mezentsev, P.E. Issledovanie otraslevykh i regional'nykh problem formirovaniya energeticheskoy bezopasnosti [A study of industry-based and regional problems of ensuring energy security]. *Ekonomika regiona*, 2008, no. 3, pp. 82–89.

5. Mezentsev, P.E., Myzin, A.L., Bogatyrev, L.L., Ananicheva, S.S. Analiz napravleniy energosberezheniya v elektroenergeticheskikh sistemakh [Analysis of energy-saving directions in electric power systems]. *Materialy IX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energetika: ekologiya, nadezhnost', bezopasnost'»* [Proceedings of the IXth All-Russia Conference on Science and Technology «Power Engineering: ecology, reliability, safety»]. Tomsk, TPU, 2003, pp. 27–29.

6. Senderov, S.M., Smirnova, E.M. Metody otsenki i analiz urovnya energeticheskoy bezopasnosti [Methods of energy security level evaluation and analysis]. *Akademiya energetiki*, 2009, no. 6 (32), pp. 30–40.

7. Makhutov, N.A., Reznikov, D.O. Otsenka uязvimosti tekhnicheskikh sistem i ee mesto v protsedure analiza riska [Evaluation of the weaknesses of technical systems and its place in risk analysis]. *Problemy analiza riska*, 2008, vol. 5, no. 3.

8. Kovalev, E.E. Kontseptsiya priemlemogo riska kak osnova normalizatsii mediko-ekologicheskoy situatsii v altayskom krae [A concept of acceptable risk as the basis of normalizing the medico-ecological situation in the Altai region]. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh*, 1993, issue 6, pp. 3–20.

9. Savelyev, V.A., Batayeva, V.V. Otsenka vliyaniya ugroz na regional'nuyu energeticheskuyu bezopasnost' s ispol'zovaniem elementov teorii riska [Evaluation of the effect of threats to regional energy security by using risk theory elements]. *Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki* [Methodological questions of studying the reliability of large energy systems]. Irkutsk: ISEM SO RAN, 2015, issue 65, pp. 396–404.

Савельев Виталий Андреевич,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 220,
телефон (4932) 26-99-24,
e-mail: savelev-iv@yandex.ru

Savelyev Vitaly Andreyevich,

Ivanovo State Power Engineering University,
Doctor of Engineering Sciences (Post-doctoral degree), Professor of the Department of Electric Power Plants, Substations and Electric Equipment Diagnostics,
address: Ivanovo, 34 Rabfakovskaya St., Building B, Room 220,
telephone (4932) 26-99-24,
e-mail: savelev-iv@yandex.ru

Батаева Вера Владимировна,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
старший преподаватель кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 220,

телефон (4932) 26-99-24,
e-mail: bataewa.v@yandex.ru
Batayeva Vera Vladimirovna,
Ivanovo State Power Engineering University,
Senior Lecturer of the Department Electric Power Plants, Substations and Electric Equipment Diagnostics,
Address: Ivanovo, 34 Rabfakovskaya St., Building B, Room 220,
telephone (4932) 26-99-24,
e-mail: bataewa.v@yandex.ru