

**ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ, ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА
ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Массель Людмила Васильевна

Д.т.н., профессор, главный научный сотрудник,
зав. лабораторией «Информационные технологии в энергетике»,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: massel@isem.irk.ru

Комендантова Надежда Павловна

К.э.н., старший научный сотрудник
Международный институт прикладного системного анализа (МИПСА),
Лаксенбург, Австрия
Шлоссплатц 1, 2361 Лаксенбург, e-mail: komendan@iiasa.ac.at

Аннотация. В статье рассматриваются предпосылки выполнения совместного проекта, планируемого коллективами Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Россия, Иркутск) и Международного института прикладного системного анализа (МИПСА) (Лаксенбург, Австрия). Представляет интерес сравнение подходов к исследованию устойчивости, развиваемых в ИСЭМ СО РАН и МИПСА. Приводятся определение разных видов устойчивости, рассматриваемые в международной практике, анализируются исследования области энергетической и экологической безопасности и качества жизни (РФ). С Российской стороны предполагается выполнение проекта для Байкальской природной территории, частично включающей территории Иркутской области, республики Бурятия и Забайкальского края. Будут применены разрабатываемые в коллективе научных сотрудников ИСЭМ СО РАН интеллектуальные информационные технологии, основанные, в первую очередь на методах когнитивного и вероятностного (на основе Байесовских сетей доверия) моделирования.

Ключевые слова. Устойчивость энергетических и социальных систем, природные и техногенные угрозы, оценка рисков, интеллектуальные информационные технологии, когнитивное и вероятностное моделирование

Цитирование: Массель Л.В., Комендантова Н.П. Оценка рисков природных и техногенных угроз устойчивости энергетических, экологических и социальных систем на основе интеллектуальных информационных технологий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 31–45. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-03

Введение. В последнее время за рубежом вызывает большой интерес направление, определяемое термином “Resilience”, который переводится на русский язык как “устойчивость” или “упругость”. В России исследования в этой области ведутся в основном в области технической устойчивости, в то время как в Западной Европе рассматривают это направление шире и включают в рассмотрение также экологическую, психологическую,

социальную и экономическую устойчивость. С другой стороны, факторы, определяющие социальную устойчивость в зарубежных работах, перекликаются с факторами, используемыми при оценке качества жизни в российских исследованиях.

При рассмотрении устойчивости технических систем необходимо оценивать риски как природных, так и техногенных угроз. В работах Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН эти угрозы до последнего времени рассматривались, как угрозы энергетической безопасности, что будет показано далее.

Участившиеся природные катаклизмы требуют повышенного внимания к оценке рисков их возникновения и выработке мер по снижению их последствий. Особое значение имеет то, что они могут стать причиной чрезвычайных ситуаций, усугубляющихся вероятностью возникновения множественных аварий, в том числе каскадного характера, в энергетике, которая, в свою очередь, является одной из критических инфраструктур, напрямую влияющих на качество жизни населения.

Необходимо учитывать цели энергетического перехода, которые предусматривают широкомасштабное внедрение возобновляемых источников энергии, а также процесс децентрализации энергосистемы, когда потребители энергии становятся также производителями, и на основании этих процессов изменяются требования к системе электропередач, когда электричество не только подается от производителя к потребителю, но также и от потребителя обратно в электросеть, при этом возникают дополнительные задачи по обеспечению надежности. Кроме того, весьма актуальны недостаточно изученные вопросы использования возобновляемых энергетических ресурсов на охраняемых природных территориях, одной из которых в России является центральная экологическая зона Байкальской природной территории, и исследование устойчивости этой территории с экологической точки зрения. Совместное исследование этих вопросов приводит к необходимости привлечения такого показателя, как качество жизни населения.

Таким образом, актуальность совместного проекта определяется необходимостью выполнения междисциплинарного исследования, базирующегося на системном анализе факторов как природного, так и техногенного характера, влияющих на устойчивость как энергетических, так и социальных систем, и их способность для адаптации к существующим и возникающим угрозам.

Для выполнения системного анализа требуются разработка и интеграция соответствующих методов и применение современных информационных технологий, которыми могут быть, например, интеллектуальные информационные технологии (в частности, когнитивное моделирование и вероятностное моделирование на основе Байесовских сетей доверия), разрабатываемые и используемые в коллективе научных сотрудников ИСЭМ СО РАН, возглавляемом Л.В. Массель.

1. Анализ современного состояния исследований в данной области

1.1. Подходы к определению устойчивости (МИПСА). Рассмотрим определения устойчивости, приведенные в докладе МИПСА, подготовленном для Центра виртуальных компетенций и тренинга по защите критических энергетических сетей от природных и техногенных катастроф (Virtual Competency and Training Center on the Protection of Critical Energy Networks from Natural and Man-Made Disasters), созданного на базе Организации по Безопасности и Сотрудничеству в Европе (ОБСЕ)

Концепция устойчивости не имеет уникального определения, из-за ее широкого использования в разных областях с различными значениями и последствиями. Приведем некоторые из них.

Устойчивость часто определяется как способность системы возвращаться к равновесию, или, скорее, способность вернуться к равновесию и развиваться, несмотря на дальнейшие толчки и нарушения.

Устойчивость может быть связана со способностью выдерживать стресс и «приходить в норму»

Устойчивость может быть способностью достижения некоторых новых стадий динамического равновесия после шока, готовности к динамическим, межмасштабным взаимодействиям парной системы: человек-окружающая среда

Устойчивость может быть способностью человека успешно справиться с травматическим опытом и избежать отрицательных траекторий

Одно из самых популярных определений было предложено [25]:

«Устойчивость - это способность системы возвращаться к равновесию или устойчивому состоянию после возмущения, такого, как наводнения, землетрясения или другие стихийные бедствия, а также техногенные катастрофы, такие как банковские кризисы, войны или революции».

Устойчивость представляет собой способность системы возвращаться к равновесному состоянию после временного нарушения; чем быстрее она возвращается к равновесию и чем меньше теряет, тем более устойчивой она является. Возможно, именно поэтому корень термина «устойчивость» или «упругость» в латинском слове «Resilio», что означает «отскочить назад».

Уровень устойчивости пропорционален скорости возвращения назад (восстановления).

Согласно экологическому подходу, устойчивость – мера постоянства экосистем и их способности адаптироваться к изменениям и нарушениям и по-прежнему поддерживать одни и те же отношения между населением или государством [26, 27]. Понятия постоянства, изменения и непредсказуемости в этом определении отличаются от эффективности, постоянства и предсказуемости в технической устойчивости. Под устойчивостью экосистемы понимается способность поглощать возмущающие факторы и реорганизовываться, пока система претерпевает изменения.

При рассмотрении социальной устойчивости выделяют следующие факторы: моральные ценности, реалистический оптимизм, устойчивая ролевая модель, получение социальной поддержки, ментальная и эмоциональная гибкость, смысл жизни и цели, духовные практики, физическая активность, способность противостоять страхам. Уделяется большое внимание связи между снижением риска бедствий и устойчивостью.

Рассматривают так называемые 4 Rs устойчивости [24]:

- Robustness (надежность): сила или способность элементов, системы и др. мер анализа для определения возможности выдерживать данный уровень стресса или нужды, без страдания от деградации или потери функции.
- Redundancy (резервирование): возможность удовлетворения функциональных требований в случае разрушения, деградации или потери функциональности.

- **Rapidity** (быстрота): способность своевременно выполнять (удовлетворять) приоритеты и достигать цели, чтобы сдерживать потери, восстановить функциональность и избежать сбоев в будущем.
- **Resourcefulness** (изобретательность): способность идентифицировать проблемы, установить приоритеты и мобилизовать альтернативы внешних ресурсов, когда существуют условия, которые угрожают нарушить какой-то элемент или систему.

1.2. Энергетическая и экологическая безопасность, качество жизни. Вопросы природных чрезвычайных ситуаций рассматриваются во многих источниках, в частности, на сайте Министерства чрезвычайных ситуаций [28], в Национальном атласе России, т. 2 [31] и др. На сайте [30] приводится анализ статистики природных катаклизмов, начиная с 1900, и иллюстрируется тенденция их возрастания, которая, как считают авторы, будет развиваться в будущем. В этих условиях особое внимание привлекают жизненно важные для человечества природные объекты, например, такие, как самый большой в мире резервуар питьевой воды - оз. Байкал, что требует постоянного анализа (мониторинга) антропогенного влияния на этот регион и выработки необходимых природоохранных мер [16]. Важными являются также вопросы возобновляемой энергетики в этом регионе [17].

Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ №216 от 13.05.2019) определяет следующие угрозы энергетической безопасности, важные для данного проекта [29]:

- высокий уровень износа основных производственных фондов организаций топливно-энергетического комплекса, низкая эффективность использования и недостаточные темпы обновления этих фондов;
- противоправное использование информационно-телекоммуникационных технологий, в том числе осуществление компьютерных атак на объекты информационной инфраструктуры и сети связи, используемые для организации их взаимодействия, способное привести к нарушениям функционирования инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса;
- неблагоприятные и опасные природные явления, изменения окружающей среды, приводящие к нарушению нормального функционирования и разрушению инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса.

В Доктрине определены риски в области энергетической безопасности, в том числе:

- недостаточный уровень защищенности инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса от актов незаконного вмешательства и опасных природных явлений.

Также в доктрине констатировано, что последствиями реализации угроз энергетической безопасности являются, в том числе:

- причинение вреда жизни и здоровью граждан;
- нарушение нормального функционирования организаций, в том числе организаций топливно-энергетического комплекса, и отраслей экономики Российской Федерации;
- необходимость выделения дополнительных бюджетных ассигнований на ликвидацию последствий реализации угроз энергетической безопасности.

Рассмотренные угрозы, риски их возникновения и их последствия необходимо учитывать при исследованиях устойчивости технических, экологических и социальных систем.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН является одним из признанных лидеров в области исследований проблем энергетической безопасности [22, 13]. Под энергетической безопасностью (ЭБ) понимается состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от обусловленных внутренними и внешними факторами угроз дефицита в обеспечении их обоснованных потребностей в энергии экономически доступными топливно-энергетическими ресурсами приемлемого качества в нормальных условиях и при чрезвычайных обстоятельствах, а также от нарушений стабильности, бесперебойности топливо- и энергоснабжения. В этих исследованиях определены стратегические угрозы ЭБ, одной из которых являются природные угрозы. До настоящего времени большее внимание уделялось внешнеполитическим, экономическим и управленческим угрозам.

Важным аспектом обеспечения энергетической безопасности страны является исследование негативного воздействия природных катаклизмов на электроэнергетическую систему (ЭЭС) с целью снижения рисков крупных системных аварий, оказывающих существенное влияние на качество жизни населения. Природные риски, такие как землетрясения, штормы, наводнения, периоды экстремальной жары названы в [6] в числе главных причин возникновения каскадных аварий в энергосистемах. Последние данные свидетельствуют о том, что изменение климата ведёт к росту числа экстремальных природных катаклизмов, которые могут привести к системным авариям. По данным ОБСЕ в последнее десятилетие неуклонно растет количество системных аварий, последствия которых затрагивают все большее число людей в разных странах. Так, пять больших погашений произошли в течение последних шести лет: в 2009 году в Бразилии и Парагвае, затронув 87 млн. человек; в 2012 году в Индии, затронув 620 млн. человек; в 2014 году в Бангладеш, затронув 150 миллионов; в 2015 году в Пакистане, затронув 140 миллионов, и в 2016 году в Шри Ланка, затронув 21 млн. человек.

Актуальность этой проблемы возрастает в связи с развитием концепции интеллектуальных энергетических систем (ИЭС) или Smart Grid, создание которых предусматривает внедрение современных средств производства, передачи, распределения, накопления и потребления электроэнергии и приводит к заметному усложнению технологической подсистемы ЭЭС. Современные ЭЭС представляют собой сложные, многосвязные, пространственно-распределенные иерархические объекты, функционирующие в условиях многочисленных внешних и внутренних возмущениях как систематического, так и случайного характера [31].

Поэтому в ИЭС наряду с традиционными проблемами повышения эффективности производства, преобразования, передачи и распределения электроэнергии, их надёжности, безопасности и живучести возникают задачи обеспечения их *устойчивости (Resilience)* к внешним возмущениям, в том числе и природного характера. Решение задач обеспечения устойчивости к внешним возмущениям ИЭС требует оценки влияния негативных природных факторов, не учет которых приведет к недопустимому снижению устойчивости этих систем, увеличению их аварийности и снижению надежности электроснабжения потребителей и качества электроэнергии. Для снижения влияния негативных факторов необходимы глубокие

комплексные исследования. Конкретная задача в рамках этой проблемы состоит в разработке моделей и методов количественной оценки устойчивости ИЭС к внешним природным возмущениям и обоснования направлений и средств повышения их устойчивости на базе интеллектуальных информационных технологий.

Качество жизни мировое научное сообщество понимает как совокупность объективных и субъективных параметров, характеризующих максимальное количество сторон жизни человека, его положение в обществе и удовлетворенность им. Качество жизни определяется не только финансовым благополучием, но еще учитывает состояние защищенности, здоровье, положение человека в обществе и, главное, его собственную оценку всех этих факторов. Интегральный показатель качества жизни обобщает показатели здоровья, социального самочувствия, субъективного социального благополучия и благосостояния. До последнего времени качество жизни в исследованиях энергетики не учитывалось [21].

Под защищенностью населения понимается как защищенность граждан от природных угроз ЭБ, так и влияние экологических аспектов и аспектов обеспеченности энергетическими ресурсами на качество жизни населения.

Работы по оценке рисков в энергетике в России были связаны преимущественно с инвестиционными и экономическими рисками или рисками, связанными с надежностью энергоснабжения [2, 7, 11-12, 14-15, 19, 33], постановки задач, связанных с оценкой рисков природных ситуаций, в исследованиях ЭБ России отсутствуют.

Кроме того, население традиционно относилось к категории бытовых потребителей, нужды которых учитывались в последнюю очередь. Развитие такого научного направления, как исследования качества жизни, требует пересмотреть сложившуюся ситуацию и рассматривать качество жизни как категорию, связанную не только со здоровьем, но и с влиянием внешних факторов, например, таких, как обеспеченность населения энергоресурсами, что напрямую связано с проблемой энергетической безопасности. Авторами отмечалась необходимость интеграции этих исследований, и сделаны определенные шаги в этом направлении [8].

Поскольку для оценки качества жизни используются объективно-субъективные показатели [21], для комплексного решения проблемы необходимо привлечение качественных методов системного анализа, в частности, семантического моделирования, которое можно рассматривать совместно с математическим моделированием при наличии количественной информации, необходимой для математических моделей. Попытка использования нечетких вычислений сделана, например, в [18]. Авторы развивали идею использования для этого когнитивного и математического моделирования в работах [9, 10].

Под когнитивным моделированием понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов. Основы когнитивного моделирования были разработаны в свое время Ван Хао (1956 г.), Р. Аксельродом (1976 г.), Д.А. Поспеловым (1981 г.). Это направление получило свое развитие в работах Э.А. Трахтенгерца [20], в настоящее время активно развивается в Институте проблем управления РАН (Абрамова Н.А., Кульба В.В., Кулинич А.А., Максимов В.И. и др.) для анализа влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями.

Вероятностное моделирование основано на применении Байесовских сетей доверия, в коллективе, возглавляемом Л.В. Массель, применялось для оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций в энергетике, в настоящее время используется для оценки рисков киберугроз, планируется его применение в предлагаемом проекте.

2. Предлагаемые подходы и методы для реализации цели и задач исследований. Предлагаемый проект основывается на применении методов системного анализа, математического моделирования и методов интеллектуальной поддержки принятия решений, методов инженерии знаний, а также авторских методов семантического моделирования и концепции ситуационного управления, основными методами которого являются ситуационный анализ, ситуационное моделирование и визуальная аналитика. Предполагаются развитие и адаптация к теме проекта авторских методов построения семантических (онтологических, когнитивных, событийных и вероятностных (на основе Байесовских сетей доверия)) моделей знаний. При реализации инструментальных средств интеллектуальной поддержки принятия решений будут применены методы объектного подхода (анализ, проектирование, программирование), методы системного и прикладного программирования, методы проектирования баз данных, информационных систем и экспертных систем, а также авторские методы построения многоагентных систем в энергетике.

В исследованиях Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН выявлены основные типы угроз ЭБ, одной из которых являются природные угрозы. Для Байкальского региона это землетрясения (до 2000 в год), пожары, маловодье или паводки, холодные зимы, сопровождающиеся снежными бурями, заносами, обледенением проводов, и др. Кроме того, природные угрозы (например, пожары) могут стать причиной экологических проблем.

Байкальский регион образуют территории Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ № 1641-р от 27.11.2006 г. «О границах Байкальской природной территории» на территории Байкальского региона определены три зоны, образующие Байкальскую природную территорию и включающие отдельные районы Республики Бурятия, Иркутской области и Забайкальского края, оказывающие преимущественное влияние на акваторию оз. Байкал: центральная экологическая зона, экологическая зона атмосферного влияния, буферная экологическая зона.

Особый интерес и важное значение представляет центральная экологическая зона, в которую входят особо охраняемые природные территории (заповедники, национальные парки, заказники и резерваты) общей площадью 25,6 тыс. км² или 1/3 от территории центральной экологической зоны.

Постановлением Правительства РФ №643 от 30 августа 2001 г. «Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» с изменениями, утвержденными постановлением Правительства РФ №186 от 2 марта 2015 г., установлен запрет на строительство в центральной экологической зоне Байкальской природной территории угольных котельных с одновременным определением возможности проведения реконструкции и технического перевооружения существующих угольных котельных, в том числе с установкой новых агрегатов в соответствии с требованиями технической и экологической безопасности.

Использование возобновляемых энергетических ресурсов снижает риски природных угроз. В то же время вопросы использования возобновляемых энергетических ресурсов в Байкальской природной территории, а особенно в центральной экологической зоне, недостаточно изучены. Кроме того, размещение, например, ветровых и солнечных установок может привести как к экологическим проблемам, так и социально-экономическим проблемам, связанным с отчуждением земель на особо охраняемых территориях и снижением количества рабочих мест для местного населения.

Оценка рисков природных угроз для этих территорий ранее не выполнялась. Предлагается адаптировать и использовать для этого риск-ориентированный подход, разрабатывавшийся ранее участниками проекта для оценки рисков кибербезопасности. Риск-ориентированный подход учитывает ущерб от повреждения или уничтожения объекта с использованием качественных (сложность восстановления, уничтожение уникальной природной среды, имидж и иное) и количественных (в денежном эквиваленте) параметров, а также вероятность повреждения или уничтожения объекта, с учетом возможности наступления каскадных аварий.

Риски описываются множеством $R = \{T, V, D\}$,

где T – угрозы (в нашем случае природные), V – уязвимости (параметры, характеризующие возможность нанесения описываемой системе повреждений любой природы теми или иными внешними средствами или факторами), D – ущерб при реализации угрозы (интегральный показатель, включающий в т.ч. социальный ущерб от снижения качества жизни).

Угрозы определяются через вероятности наступления событий, приводящих к критическим ситуациям (например, условные вероятности, используемые в байесовских сетях). Количественный ущерб выражается в денежном эквиваленте с использованием экспертных оценок.

В рамках проекта предполагается разработка следующих оригинальных подходов и методов: 1) методы системного анализа поставленной проблемы, основанные на ситуационном и семантическом моделировании; 2) авторский риск-ориентированный подход для оценки рисков природных угроз ЭБ; 3) методы оценки ущербов (качественных и количественных) от чрезвычайных ситуаций; 4) методы когнитивного и вероятностного моделирования для решения поставленных задач; 5) методы визуальной аналитики для анализа проблемы и визуализации решаемых задач; 6) методы интегральной оценки качества жизни населения с учетом природных и техногенных угроз ЭБ; 7) методы построения многоагентной интеллектуальной среды поддержки принятия решений по сохранению устойчивости энергетической инфраструктуры региона, предотвращению чрезвычайных ситуаций и повышению качества жизни населения с учетом энергетических и экологических факторов.

Заключение. В статье рассмотрены предпосылки выполнения совместного Международного проекта под руководством Л.В. Массель (ИСЭМ СО РАН) и Н.П. Комендантовой (МИПСА). Следует отметить, что в исследованиях ученых-энергетиков ИСЭМ СО РАН, связанных с исследованиями устойчивости в условиях кибератак [4, 5], анализируются работы зарубежных ученых в области устойчивости энергетических систем [23, 32, 34-35] и проводятся параллели с исследованиями устойчивости систем энергетики,

выполняемых в ИСЭМ СО РАН в 90-х гг. прошлого века, когда термин «живучесть» использовался, как синоним современного термина «устойчивость» [1, 3].

В рамках проекта предполагается сравнение и развитие подходов к исследованию устойчивости энергетических и социальных систем, которые используются в МИПСА и в ИСЭМ СО РАН, учитывая достижения и опыт российских ученых в области исследований энергетической и экологической безопасности, качества жизни, интеллектуальной поддержки принятия решений. Предлагается интегрировать подходы, разрабатываемые в исследованиях энергетики, экологии и социологии и применить их для решения поставленной проблемы.

Актуальность темы объясняется необходимостью разработки и внедрения новых подходов к управлению рисками в условиях существующих природных рисков, а также возникающих рисков, вызванных изменениями климата. Также необходимо учитывать уязвимость энергосистемы в связи с внедрением новых источников энергии, а также меняющихся требований, связанных с децентрализацией и внедрением новых виртуальных или цифровых технологий. По управлению рисками авторы понимают процесс принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата и минимизацию возможных потерь, вызванных его реализацией. Цели устойчивости энергосистемы соответствуют целям управления рисками, как и создание устойчивой системы, способной противостоять последствиям угроз, переносить их, приспосабливаться к ним и восстанавливаться своевременно и эффективно, в том числе посредством сохранения и восстановления своих основополагающих структур и функций.

Предлагаемое исследование также отвечает целям предотвращения угроз, определенным в Доктрине энергетической безопасности Российской Федерации и соответствует задачам по совершенствованию государственного управления в области обеспечения энергетической безопасности, обеспечению ее взаимодействия с государственными информационными системами, системами мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на объектах топливно-энергетического комплекса, иными системами управления рисками, используемыми субъектами энергетической безопасности.

Новизна проекта определяется как новизной поставленных задач и его междисциплинарным характером, так и интеграцией новых методов и современных информационных технологий для решения поставленных задач: интеллектуальные технологии поддержки принятия решений; семантическое моделирование (онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное); визуальная аналитика и когнитивная графика; геоинформационные технологии; риск-ориентированный подход; оценка качества жизни населения с учетом природных угроз ЭБ. Представляется, что результаты выполнения проекта позволят расширить понимание устойчивости технических и социальных систем и внесут вклад в развитие этого направления.

Благодарности. Результаты получены в рамках выполнения проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН АААА-А17-117030310444-2 (проект №349-2016-0005) и при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №19-07-00351, №18-07-00714, № 17-07-01341, авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Г.Н., Черкесов Г.Н., Криворуцкий Л.Д. и др. Методы и модели исследования живучести систем энергетики. Новосибирск: Наука. 1990. 285 с.
2. Буянов В.П., Кирсанов К.А., Михайлов Л.А. Управление рисками (рискология). М.: Экзамен. 2002. 384 с.
3. Воропай Н.И. Живучесть ЭЭС: методические основы и методы исследований // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1991. № 6. С. 52–59.
4. Воропай Н.И., Колосок И.Н., Коркина Е.С. Оценка устойчивости программно-вычислительного комплекса оценивания состояния в условиях кибератак // Труды международного научного семинара «Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики». Вып. 69. Том 2. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2018. С. 9–18.
5. Воропай Н.И., Колосок И.Н., Коркина Е.С., Осак А.Б. Проблемы уязвимости и живучести кибер-физических электроэнергетических систем // Энергетическая политика. Вып. 5. 2018. С. 53–61.
6. Защита электрических сетей от природных рисков. © ОБСЕ (Protecting Electricity Networks from Natural Hazards.). Пер. с англ.: Ковалев Г.Ф., Крупенёв Д.С. и др. 2016. 132 с.
7. Королёв В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. 544 с.
8. Массель Л.В. Конвергенция исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности // Информационные технологии и системы: Труды Шестой Международной научной конференции ИТиС-2017. Челябинск: ЧелГУ. Науч. электрон. издание. ISBN 978-5-7271-1417-9. С. 170–175. Режим доступа: <http://iit.csu.ru/content/docs/science/itis2017/itis2017.pdf> (дата обращения 10.05.2017)
9. Массель Л.В., Блохин А.А. Когнитивное моделирование индикаторов качества жизни: предлагаемый подход и пример использования // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. Т.14. №2. 2016. С. 72–79
10. Массель Л.В., Блохин А.А. Метод когнитивного моделирования индикаторов качества жизни с учетом внешних факторов // Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Баумана. №4. 2016. С. 65–75. DOI: 10.7463/0416.0839061
11. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска // Проблемы анализа риска. 2008. Т. 5. № 3. С. 72–85
12. Найт Ф.Х. Риск, неопределенность и прибыль. М.: Дело. 2003. 359 с.
13. Обеспечение энергетической безопасности России: выбор приоритетов / С.М. Сендеров, В.И. Рабчук, Н.И. Пяткова, С.В. Воробьев. ИСЭМ СО РАН. Новосибирск: Наука. 2017. 116 с.
14. Орлов А.В. Имитационное моделирование инвестиционных рисков // Управление риском. 2008. №1. С. 28–33.
15. Савельев В.А., Батаева В.В. Оценка влияния угроз на региональную энергетическую безопасность с использованием элементов теории риска // Труды Международного научного семинара «Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики». Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015. Вып. 65. С. 396–404.

16. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Майсюк Е.П., Тугузова Т.Ф., Иванов Р.А. Энергетическая инфраструктура центральной экологической зоны: воздействие на природную среду и пути его снижения // География и природные ресурсы. 2016. №5. С. 218–224.
17. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф. и др. Возобновляемая энергетика как одно из направлений снижения антропогенной нагрузки в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2016. №3. С. 86–90. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-3(86-90)
18. Силич В.А., Силич М.П. Оценка угроз энергетической безопасности региона с использованием «нечеткой» карты рисков // Вестник ИрГТУ. 2011. №34 (51). С. 11–16.
19. Токаренко Г.С. Методы оценки рисков // Финансовый менеджмент. 2006. №6. С. 129–143.
20. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.:СИНТЕГ. 1998. 376с.
21. Финогенко И.А., Дьякович М.П., Блохин А.А. Методология оценивания качества жизни, связанного со здоровьем // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21. №. 1. С. 121–130.
22. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути их решения / Н.И. Пяткова [и др. Отв. ред. Н.И. Воропай, М.Б. Чельцов. ИСЭМ СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2011. 198 с.
23. Cen Nan, Sansavini G., Kroeger W. Building an integrated metric for quantifying the resilience of interdependent infrastructure systems // 9th Intern. Conf. on Critical Information Infrastructure Security. Limassol. Cyprus. October 13-15. 2014. 12 p.
24. Cimellaro G., Reinhorn A. & Bruneau M. Seismic resilience of a hospital system, Structure and Infrastructure Engineering 6 (1-2). 2010. Pp. 127–144
25. Davoudi S. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End, Planning Theory and Practice 13(2). 2012. Pp. 299–307.
26. Holling C. Resilience and Stability in Ecological Systems, Annual Review of Ecology and Systematics 4. 1973. Pp. 1–23.
27. Holling C. Engineering Resilience Versus Ecological Resilience, Engineering Within Ecological Constraints, ed.: Peter Schultz, National Academy Press, Washington D.C. 1996. Pp. 31–43.
28. <http://central.mchs.ru/document/217214> (Дата обращения 23.03.2018)
29. <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/57774.html/> (Дата обращения 9.11.2019)
30. <http://www.vseneprostotak.ru/2013/01/statistika-prirodnih-kataklizmov-tendentsii/> (Дата обращения 2.04.2018)
31. <http://xn--80aaaa1bhnclcci1cl5c4ep.xn--p1ai/cd2/index.html> (Дата обращения 26.03.2018)
32. Massoud A. Challenges in reliability, security, efficiency, and resilience of energy infrastructure: Toward smart self-healing electric power grid // IEEE PES General Meeting, Pittsburg. USA. July 20-24. 2008. 5 p.
33. Sadeghi M., Shawalpour S. Energy risk management and value at risk modeling // Energy Policy. 2006. №34. Pp. 3367–3373.
34. Yezhou Wang, Chen Chen, Jianhui Wang, Baldick R. Research on resilience of power systems under natural disasters – A review // IEEE Trans. Power Syst. 2016. Vol. 31. № 2, Pp. 1604–1612.
35. Zhonglin Wang, Nistor M.S., Pickl S.W. Analysis of the definitions of resilience // 20th IFAC World Congress. Toulouse. France. July 9-14. 2017. Pp. 11136–11144.

UDK 004.8 : (620.9 + 504.03)

**RISK ASSESSMENT OF NATURAL AND TECHNOGENIC THREATS TO
RESILIENCE OF ENERGY, ECOLOGY AND SOCIAL SYSTEMS
BASED ON INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES**

Lyudmila V. Massel

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher,
Head Laboratory "Information Technologies in Energy",
Institute of Energy Systems L.A. Melentyev SB RAS,
664033 Irkutsk, Lermontov str., 130, e-mail: massel@isem.irk.ru

Nadezhda P. Komendantova

Ph.D., Senior Researcher
International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA),
Laxenburg, Austria
Schlossplatz 1, 2361 Laxenburg, e-mail: komendan@iiasa.ac.at

Abstract. The article discusses the prerequisites for the implementation of a joint project planned by the teams of the Institute of Energy Systems named after L.A. Melentyev SB RAS (Russia, Irkutsk) and the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (Laxenburg, Austria). It is of interest to compare the approaches to resilience studies developed at ISEM SB RAS and IIASA. The definition of different types of resilience, considered in international practice, is given, the studies of the field of energy and environmental safety and quality of life in RF are analyzed. On the Russian side, it is planned to carry out a project for the Baikal natural territory, partially including the territory of the Irkutsk region, the Republic of Buryatia and the Zabaikalskiy region. Intelligent information technologies developed in the ISEM SB RAS team of scientists will be applied, based primarily on the methods of cognitive and probabilistic (based on Bayesian trust networks) modeling.

Keywords: resilience of energy, ecology and social systems, natural and technogenic threats, risk assessment, intelligent information technology, cognitive and probabilistic modeling.

Acknowledgment. The results were obtained in the framework of the project on state assignment to ISEM SB RAS AAAA-A17-117030310444-2 (project № 349-2016-0005) and with partial financial support from RFBR grants № 19-07-00351, № 18-07-00714, № 17 -07-01341, the authors are grateful to the Russian Foundation for Basic Research.

References

1. Antonov G.N., Cherkesov G.N., Krivoruckij L.D. i dr. Metody i modeli issledovanija zhivuchesti sistem jenergetiki [Methods and models for studying the survivability of energy systems.]. Novosibirsk: Nauka =Science. 1990. 285 p. (in Russian)
2. Bujanov V.P., Kirsanov K.A., Mihajlov L.A. Upravlenie riskami (riskologija) [Risk management (riskology)]. Moscow. Jekzamen = Exam. 2002. 384 p. (in Russian)

3. Voropaj N.I. Zhivuchest' JeJeS: metodicheskie osnovy i metody issledovanij [EES survivability: methodological foundations and research methods] // Izvestija AN SSSR. Jenergetika i transport = Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Energy and transport. 1991. № 6. Pp. 52 – 59. (in Russian)
4. Voropaj N.I., Kolosok I.N., Korkina E.S. Ocenka ustojchivosti programmno-vychislitel'nogo kompleksa ocenivaniya sostojaniya v uslovijah kiberatak [Assessment of the resilience of the software and computer complex for assessing the state in conditions of cyber attacks] // Trudy mezhdunarodnogo nauchnogo seminar «Metodicheskie voprosy issledovanija nadjozhnosti bol'shih sistem jenergetiki» = Proceedings of the International Scientific Seminar "Methodological issues of the study of the reliability of large energy systems." Irkutsk. MESI SB RAS. 2018. Issue 69. Vol. 2. Pp. 9–18. (in Russian)
5. Voropaj N.I., Kolosok I.N., Korkina E.S., Osak A.B. Problemy ujazvimosti i zhivuchesti kiber-fizicheskikh jelektrojenergeticheskikh system [Problems of vulnerability and survivability of cyber-physical electric power systems] // Jenergeticheskaja politika = Energy Policy. 2018. Vol. 5. Pp. 53–61. (in Russian)
6. Zashhita jelektricheskikh setej ot prirodnyh riskov [Protecting Electricity Networks from Natural Hazards]. Translation from English.: Kovalev G.F., Krupenkov D.S. i dr. 2016. 132 p. (in Russian)
7. Korolev V.Ju., Bening V.E., Shorgin S.Ja. Matematicheskie osnovy teorii riska [Mathematical foundations of risk theory]. Moscow. FIZMATLIT. 2007. 544 p. (in Russian)
8. Massel' L.V. Konvergencija issledovanij kriticheskikh infrastruktur, kachestva zhizni i bezopasnosti [Convergence of research of critical infrastructures, quality of life and security] // Trudy Shestoj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Informacionnye tehnologii i sistemy” (ITiS-2017) = Proceedings of the Sixth International Scientific Conference “Information Technologies and Systems” (ITIS-2017). Chelyabinsk. ChelSU. Scientific electron. edition. ISBN 978-5-7271-1417-9. Pp. 170–175. Available at: <http://iit.csu.ru/content/docs/science/itis2017/itis2017.pdf> (accessed 05.10.2017). (in Russian)
9. Massel' L.V., Blohin A.A. Kognitivnoe modelirovanie indikatorov kachestva zhizni: predlagaemyj podhod i primer ispol'zovaniya [Cognitive modeling of indicators of quality of life: the proposed approach and example of use] // Vestnik NGU. Serija: Informacionnye tehnologii = Bulletin of NSU. Series: Information Technology. 2016. Vol.14. № 2. Pp. 72–79. (in Russian)
10. Massel' L.V., Blohin A.A. Metod kognitivnogo modelirovaniya indikatorov kachestva zhizni s uchetom vneshnih faktorov [The method of cognitive modeling of quality of life indicators taking into account external factors] // Nauka i obrazovanie. Nauchnoe izdanie MGTU im. Baumana = Science and Education. Scientific publication of MSTU Bauman. 2016. № 4. Pp. 65–75. DOI: 10.7463/0416.0839061 (in Russian)
11. Mahutov N.A., Reznikov D.O. Ocenka ujazvimosti tehniceskikh sistem i ee mesto v procedure analiza riska [Vulnerability assessment of technical systems and its place in the risk analysis procedure] // Problemy analiza riska = Problems of risk analysis. 2008. Vol. 5. № 3. Pp. 72–85 (in Russian)
12. Najt F.X. Risk, neopredelennost' i pribyl' [Knight F.X. Risk, Uncertainty, and Profit]. Moscow. Delo = Publishing House Delo. 2003. 359 p. (in Russian)

13. Obespechenie jenergeticheskoy bezopasnosti Rossii: vybor prioritetov [Ensuring the energy security of Russia: choice of priorities] / S.M. Senderov, V.I. Rabchuk, N.I. Pjatкова, S.V. Vorob'ev. MESI SB RAS. Novosibirsk: Nauka = Science. 2017. 116 p. (in Russian)
14. Orlov A.V. Imitacionnoe modelirovanie investicionnyh riskov [Simulation of investment risks] // Upravlenie riskom = Risk management. 2008. №1. Pp. 28–33. (in Russian)
15. Savel'ev V.A., Bataeva V.V. Ocenka vlijaniya ugroz na regional'nuju jenergeticheskiju bezopasnost' s ispol'zovaniem jelementov teorii riska [Assessment of the threats impact on regional energy security using elements of risk theory] // Trudy Mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru «Metodicheskie voprosy issledovanija nadezhnosti bol'shih sistem jenergetiki» = Proceedings of the International Scientific Seminar "Methodological Issues of Investigating the Reliability of Large Energy Systems". Irkutsk. ISEM SB RAS. 2015. Vol. 65. Pp. 396–404. (in Russian)
16. Saneev B.G., Ivanova I.Ju., Majsjuk E.P., Tuguzova T.F., Ivanov R.A. Jenergeticheskaja infrastruktura central'noj jekologicheskoy zony: vozdejstvie na prirodnuju sredu i puti ego snizhenija [Energy infrastructure of the central ecological zone: impact on the natural environment and ways to reduce it] // Geografija i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources. 2016. №5. Pp. 218–224. (in Russian)
17. Saneev B.G., Ivanova I.Ju., Tuguzova T.F. i dr. Vozobnovljaemaja jenergetika kak odno iz napravlenij snizhenija antropogennoj nagruzki v central'noj jekologicheskoy zone Bajkal'skoj prirodnoj territorii [Renewable energy as one of the ways to reduce the anthropogenic load in the central ecological zone of the Baikal natural territory] // Geografija i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources. 2016. №3. Pp. 86–90. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-3(86-90). (in Russian)
18. Silich V.A., Silich M.P. Ocenka ugroz jenergeticheskoy bezopasnosti regiona s ispol'zovaniem «nechetkoj» karty riskov [Assessment of threats to the region's energy security using a “fuzzy” risk map] // Vestnik IrGTU = ISTU Bulletin. 2011. №34 (51). Pp. 11–16. (in Russian)
19. Tokarenko G.S. Metody ocenki riskov [Methods of risk assessment] // Finansovyj menedzhment = Financial management. 2006. №6. Pp. 129–143. (in Russian)
20. Trahtengerc Je.A. Komp'juternaja podderzhka prinjatija reshenij [Trachtengerts E.A. Computer decision support]. Moscow. SINTEG. 1998. 376 p. (in Russian)
21. Finogenko I.A., D'jakovich M.P., Blohin A.A. Metodologija ocenivaniya kachestva zhizni, svjazannogo so zdorov'em [Methodology for assessing the quality of life associated with health] // Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki = Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences. 2016. Vol. 21. №. 1. Pp. 121–130. (in Russian)
22. Jenergeticheskaja bezopasnost' Rossii: problemy i puti ih reshenija [Energy security of Russia: problems and solutions] / N.I. Pjatкова i dr. Otv. red. N.I. Voropaj, M.B. Chel'cov.= N.I. Pyatkova et al. Ed. N.I. Voropaj, M.B. Cheltsov. MESI SB RAS. Novosibirsk. Izd-vo SO RAN = Publishing House of the SB RAS. 2011. 198 p. (in Russian)
23. Cen Nan, Sansavini G., Kroeger W. Building an integrated metric for quantifying the resilience of interdependent infrastructure systems // 9th Intern. Conf. on Critical Information Infrastructure Security. Limassol. Cyprus. October 13-15. 2014. 12 p.

24. Cimellaro G., Reinhorn A. & Bruneau M. Seismic resilience of a hospital system // *Structure and Infrastructure Engineering* 6 (1-2). 2010. Pp. 127–144.
25. Davoudi S. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End // *Planning Theory and Practice*. 13(2). 2012. Pp. 299–307.
26. Holling C. Resilience and Stability in Ecological Systems // *Annual Review of Ecology and Systematics*. 4. 1973. Pp. 1–23.
27. Holling C. Engineering Resilience Versus Ecological Resilience, *Engineering Within Ecological Constraints*, ed.: Peter Schultz, National Academy Press. Washington D.C. 1996. Pp. 31–43.
28. <http://central.mchs.ru/document/217214> (accessed 23.03.2018)
29. <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/57774.html/> (accessed 9.11.2019)
30. <http://www.vseneprostotak.ru/2013/01/statistika-prirodnih-kataklizmov-tendentsii/> (accessed 2.04.2018)
31. <http://xn--80aaaa1bhncclci1cl5c4ep.xn--p1ai/cd2/index.html> (accessed 26.03.2018)
32. Massoud A. Challenges in reliability, security, efficiency, and resilience of energy infrastructure: Toward smart self-healing electric power grid // *IEEE PES General Meeting*, Pittsburg. USA. July 20-24. 2008. 5 p.
33. Sadeghi M., Shawalpour S. Energy risk management and value at risk modeling / *Energy Policy*. 2006. №34. Pp. 3367–3373.
34. Yezhou Wang, Chen Chen, Jianhui Wang, Baldick R. Research on resilience of power systems under natural disasters – A review // *IEEE Trans. Power Syst.* 2016. Vol. 31. № 2. Pp. 1604–1612.
35. Zhonglin Wang, Nistor M.S., Pickl S.W. Analysis of the definitions of resilience // *20th IFAC World Congress*. Toulouse. France. July 9-14. 2017. Pp. 11136–11144.