



# Защита электрических сетей от природных рисков



Организация по безопасности и  
сотрудничеству в Европе

Материалы этой публикации предназначены только для удобства цитирования. Точки зрения, полученные данные, интерпретации и заключения, изложенные здесь, принадлежат авторам и помогавшим им и не обязательно отражают взгляды и действия ОБСЕ и участвующих в ней стран. ОБСЕ не несет какую-либо ответственность за любые ущербы или потери, которые могут быть вызваны опубликованной информацией.

© 2016 Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ). Все права защищены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена, сохранена в поисковой системе или передана в любой форме или любыми средствами - электронными, механическими, путем копирования, записи или иным образом, без предварительного письменного разрешения издателей. Это ограничение не относится к изготовлению цифровых или твердых копий этой публикации для применения внутри ОБСЕ, для личного и учебного использования, если оно не подразумевает получение прибыли или достижение коммерческих целей с условием, что копии содержат вышеупомянутое уведомление, а также соответствующие ссылки.

Защита электрических сетей от природных рисков.  
2016 © ОБСЕ

Дизайн и макет: red hot 'n' cool  
Фото на обложке: © Мохаммед Касим Науфал/Dreamstime.com  
Корректор: Катрин Платцер.

Перевод на русский язык: Дмитрий Крупнев, Геннадий Ковалев, Денис Бояркин,  
Дмитрий Дубовский, Надежда Комендантова

Данный проект получил финансовую поддержку следующих участвующих государств:  
Австрия, ФРГ, Словакия и США.

Отдел координатора экономической и экологической деятельности ОБСЕ.  
Wallnerstrasse 6  
A.1010 Vienna, Austria  
Tel: +431514360  
E-Mail: pm-ceeaa@osce.com

# Защита электрических сетей от природных рисков

# Предисловие

Данное руководство по защите электрических сетей от природных бедствий является результатом общих усилий упоминаемых ниже коллег из ОБСЕ и других организаций.

Данная публикация стала возможной благодаря финансовым вкладам следующих стран – участниц: Австрийской республики, федеральной республики Германии, республики Словакия и США.

Выпуск данной публикации был организован Отделом координатора ОБСЕ по экономической и экологической деятельности (ОКЭЭД) под руководством Дезиры Швейцеры (Desiree Schweitzer), заместителя координатора ОБСЕ по вопросам Экономики и Природоохранной деятельности / Руководителя природоохранной деятельности ОБСЕ и ответственной за энергетическую безопасность, а также Даниеля Круса (Daniel Kroos) – текущего, Сирила Лероя (Cyril Leroy) – бывшего старшего сотрудника по программам энергетической безопасности в качестве руководителей проектов. Особые благодарности коллегам из ОБСЕ, которые поддерживали этот проект на различных его этапах: Снежане Штонове (Snejhana Shtonova) и Петронеле Дурековой (Petronela Durekova).

ОКЭЭД также глубоко признательна Надежде Комендантовой (Nadejda Komendantova), старшему учёному-исследователю Швейцарской высшей технической школы Цюриха и координатору исследовательской группы по государственному управлению и рискам в Международном Институте Прикладного Системного Анализа (МИПСА - IASA), ведущему консультанту и редактору этого руководства, за её преданность делу и решающий вклад.

Особые благодарности приносим всем участникам этой публикации:

Эрик Андреини (Eric Andreini, RTE), Бриджит Балтазар (Brigitte Baltasar, Willis Re), Терри Бостон (Terry Boston, QO15), Канат Ботбаев, Секретариат Энергетической Хартии (Kanat Botbaev, Energy Charter Secretariat), Джед Ко-эн (Jed Cohen, Virginia Tech), Кристина Айсман, Федеральный Отдел Гражданской Защиты и Помощи при Бедствии (Christine Eismann, Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance), Торольф Хамм (Torolf Hamm, Willis Re), Александр Гарсиа-Аристизабель (Alexander Garcia-Aristizabal, AMRA), Матиаш Кершник (Matjaz Kersnik, Electro Ljubljana), Мартин Кёниг, Агентство экологической энергии (Martin Konig, Environment Energy Agency)\* Вольфганг Крёгер, Швейцарский Федеральный Технологический институт, Цюрих (Wolfgang Kroger, Swiss Federal Institute of Technology Zurich), Марк Леман (Marc Lehman, Willis Re), Ирина де Мейер, Секретариат Энергетической Хартии (Iryna De Meyer, Energy Charter Secretariat), Хуберт Лемменс (Hubert Lemmens, GO15), Клаус Мольтнер (Klaus Moeltner, Virginia Tech), Милка Мумовик, Секретариат Энергетического Сообщества (Milka Mumovik, Energy Community Secretariat), Иоганнес Рейхл, Энергетический Институт Университета имени Иоганнеса Кеплера (Johannes Reichl, Energy Institute at the Johannes Kepler University), Джованни Сансавини, Швейцарский Федеральный Технологический Институт, Цюрих (Giovanny Sansavini, Swiss Federal Institute of Technology Zurich), Мишель Шмидтхалер, Энергетический Институт Университета имени Иоганна Кеплера (Michael Schmidthaler, Energy Institute at the Johannes Kepler University), Алайн Стивен (Alain Steven, GO15), Любомир Томик (Lubomir Tomik, CESys), Кристофер Зобель (Christopher Zobel, Virginia Tech), Фридман Венцель, Технологический Институт в Карлсруэ (Friedemann Wenzel, Karlsruhe Institute of Technology).

\* Мартин Кёниг (Martin Konig) умер в прошлом году. Он был ведущим экспертом в исследовании процессов изменения климата и снижению рисков природных катастроф.

# Содержание

Предисловие	2
Введение	5
Резюме: от науки к действию (от теории к политике)	7
<b>Глава 1. Принципы оценки и управления рисками природных катастроф</b>	<b>11</b>
1.1. Ключевые элементы анализа оценки рисков для электроэнергетических сетей	11
1.2. Оценка анализа множественных рисков и их взаимозависимости в критической инфраструктуре	25
1.3. Виды рисков, их взаимозависимость и влияние на устойчивость энергосистем	31
1.4. Оценка системной надёжности электроэнергетических систем и выявление вклада сетевого и генерирующего звеньев в показатели системной надёжности	35
1.5. Безопасность электроснабжения, оценка услуг и общественное восприятие энергетической инфраструктуры	40
1.6. Переход к системе электроснабжения, основанной на возобновляемых источниках энергии: почему общественное мнение играет важную роль в планировании энергосети	49
1.7. Культура безопасности в индустрии с высокой степенью рисков и ее главные принципы	54
1.8. Устойчивость электрической сети при изменении климата	57
<b>Глава 2: Примеры катастроф и системного аварийного отключения электроэнергии</b>	<b>65</b>
2.1. Три системных аварийных отключения: в 2003 году в Италии и Швейцарии, а также в Швеции и Дании, и в Германии в 2006 году	65
2.2. Словения: обледенение электросетей в 2014 году	69
2.3. Юго-Восточная Европа: наводнения в 2014 году	73
2.4. Франция: шторма в 1999 году	76
2.5. Устойчивость электрических сетей к природным бедствиям	79
<b>Глава 3: Примеры существующих стратегий и инструментов предупреждения рисков</b>	<b>85</b>
3.1. Национальная гражданская защита	85
3.2. GO15	90
3.3. Индустрия страхования	93
3.4. Энергетическая безопасность: международные организации	100
Авторы и организации	108



# Введение

Я с удовольствием представляю руководство по защите электрических сетей от природных опасностей. Данное руководство предоставляет комплексный обзор концепций и средств для снижения риска и управления им, а также обзор некоторых локальных и региональных тематических исследований. Оно предназначено для поддержки стран-участниц в вопросах защиты критически важной энергетической инфраструктуры от природных катаклизмов путём повышения её устойчивости.

Энергетическая безопасность обеспечивает основу промышленных обществ и экономик. Современные экономики не могут полноценно функционировать без непрерывного электроснабжения. С ростом числа связей между различными экономиками повышается и их уязвимость к региональным и межрегиональным системным авариям. Последствия для экономики и экологии могут быть тяжелыми. Аварии, длящиеся несколько дней, могут привести к нарушению работы коммуникаций, транспорта и отопительных систем. Они могут угрожать водоснабжению и системам канализации. Они могут привести к прерыванию производства и торговых процессов, а также к вынужденному переходу больниц на резервное питание. Коротко говоря, системные аварии приводят к нарушению стабильности целых регионов. Последние данные свидетельствуют о том, что изменение климата ведёт к росту числа экстремальных природных катаклизмов, повышая вероятность негативного воздействия на инфраструктуру электроэнергетики, что, в свою очередь, может привести к системной аварии.

Защита электрических сетей от природных бедствий является актуальной проблемой для Организации безопасности и сотрудничества в Европе (ОБСЕ), 57 стран-участниц и 11 партнёров которой включают в себя несколько крупных производителей и потребителей энергии, а также стратегически важные транзитные страны. В декабре 2013 года государства-участники ОБСЕ приняли Постановление правительственного Совета о защите энергосетей от природных и техногенных бедствиях [MC.DEC/6/13]. При этом они обсудили вопросы сотрудничества и более детального рассмотрения всех необходимых мер по повышению защиты электросетей от природных и техногенных бедствий. В этом решении отделу координатора экономической и экологической деятельности (ОКЭЭД) была поручена задача содействовать обмену положительным опытом, технологическими инновациями и обменом информацией о том, как эффективно подготовиться и защитить энергосети от природных рисков.

Для осуществления положений решения MC.DEC/6/13 ОКЭЭД в 2014 году был организован экспертный семинар по обмену опытом защиты электрических сетей от природ-



**Хаил Юрдакул Джигитгюден, Координатор экономической и экологической деятельности ОБСЕ.**

ных рисков. В рамках семинара приняли участие ведущие специалисты общественных и частных организаций, а также ученые работающие над тематикой защиты электросетей от природных рисков. Подготовка этого руководства по защите электрических сетей от природных рисков в значительной степени основывалась на результатах этого семинара.

Цель этого руководства состоит в обмене информацией и опытом между ведущими участниками процесса, а именно, операторами передач, соответствующими министерствами, национальными регуляторами, неправительственными организациями с целью эффективного снижения рисков и разработки стратегий управления национальными и региональными электрическими сетями до и после того природного катастроф. Данное руководство дает уникальный обзор рассматриваемой проблемы, включая действия всех ведущих участников процесса, упомянутых выше. Снижение рисков системных аварий и управление ими в электрических передающих сетях остается сложной проблемой, актуальной для всех ключевых игроков отрасли. Эффективная кооперация стран-участниц ОБСЕ может быть мощным инструментом, чтобы помочь нам сделать слабую энергетическую инфраструктуру более устойчивой к природным опасностям.

Преданный Вам,

**Хаил Юрдакул Джигитгюден**  
Координатор экономической и экологической деятельности ОБСЕ



# Резюме: От науки к действию (от теории к политике)

Надёжность поставок электроэнергии требует достаточного уровня выработки электроэнергии для того, чтобы покрыть потребление и обеспечить надёжную передачу энергии от производителей к потребителям. Инфраструктура передачи электричества жизненно важна для функционирования современных экономик и считается «критической» (определяющей) инфраструктурой. Как промышленность, системы коммуникаций и транспортирования и некоторых других секторов зависят от безопасного и безотказного снабжения электричеством, отказы в системе снабжения могут привести к значительным экономическим затратам и коллапсу современной экономики и общественной жизни. Чтобы защитить электрические передающие и распределительные сети от множественных рисков, должны быть гарантированы функциональность, неразрывность и целостность электрических передающих сетей; это включает оценку, снижение и эффективное управление рисками системных аварий. Создание устойчивых систем электропередачи будет снижать вероятность повреждения критической инфраструктуры, ограничить негативные эффекты в национальных и региональных экономиках и сократить время, необходимое для восстановления снабжения.

Сегодня задача защиты электрических передающих систем становится еще большей проблемой, чем раньше. В последнее десятилетие число системных аварий росло неуклонно, как и их соответствующие последствия, затрагивая все больше и больше число людей в развивающихся, переходных и развитых странах. Число наиболее серьезных случаев системных аварий – классифицируемых как бедствия, когда 1000 и более человек остаются без электроэнергии по крайней мере на 1000 часов или 1 миллион человек остается без электроэнергии по меньшей мере на один час – увели-

чивается. Такие крупные аварии растут не только в количественном отношении, но и по своей интенсивности и последствиям как в пределах, так и вне пределов территории стран Организации по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ)<sup>1</sup>.

Снижение риска возникновения системных аварий в энергосистемах и управление им становятся проблемной задачей в силу роста сложности системы передачи электроэнергии и роста числа используемого оборудования, такого как генераторы, трансформаторы, высоковольтные и низковольтные магистральные и распределительные линии. Все эти компоненты взаимозависимы и включают большое количество элементов, таких как связи, дуги и узлы. Каждый элемент может стать уязвимым в силу существующих и вновь появляющихся рисков, таких как природные риски, терроризм и кибератаки или человеческие ошибки. Электрические передающие сети могут также подвергаться сложным или множественным рискам, включая их сочетания и результаты каскадности, или общесистемные риски. Природные риски такие как землетрясения, штормы, наводнения и периоды экстремальной жары называются в числе главных причин возникновения каскадных аварий в энергосистемах. Они могут повреждать или разрушать инфраструктуру электропередач или снижать ее передающие способности. Гидрометеорологические бедствия или экстремальные погодные условия, такие как штормы и наводнения, возникают наиболее часто. В соответствии с имеющимися научными исследованиями влияние климатических изменений будет наиболее частым и интенсивным в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

<sup>1</sup> Например, крупное отключение энергии в США и Канаде имело место 9 ноября 1965 года, затронув 30 миллионов человек. Последующие погашения в Таиланде 18 марта 1978 года и в Бразилии 11 марта 1999 года затронули 40 млн. человек и рекордное число 97 млн. человек, соответственно. Самое большое число крупных погашений происходило после 2001 года. 2 января 2001 года 230 млн. человек были затронуты в Индии. В том же году 55 млн. человек были затронуты большим погашением в США и Канаде. В 2001 году 55 млн. людей были затронуты в Италии и Швейцарии. В 2005 году крупное погашение поразило Яву, Индонезию, затронув 100 млн. человек. 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.

ОБСЕ является самой большой в мире региональной организацией по безопасности и, среди прочих вопросов, уделяет внимание критической инфраструктуре электроэнергетики, включая передачу электроэнергии, что является важной темой безопасности. В 2013 году в Киеве Правительственный Совет ОБСЕ принял решение о «Защите энергетических сетей от природных и техногенных бедствий» (МС.DEC/6/13). В соответствии с этим решением Отдел Координатора экономической и экологической деятельности (ОКЭЭД) ОБСЕ подготовил данное руководство по защите электрических сетей от природных опасностей, а также провел экспертный семинар по данной тематике, который состоялся в городе Вена, Австрия, 2 июля 2014 года. Тематика экспертного семинара: «Защита электрических сетей от природных опасностей» и предлагаемое руководство стали вкладом в выполнение задачи повышения возможностей государств-участников ОБСЕ для исполнения своих обязательств в соответствии МС.DEC/6/13 посредством обмена информацией и усиления взаимодействия по защите электрических сетей от природных бедствий. В работе экспертного семинара приняли участие госслужащие государств-участников, а также представители международных организаций и институтов, специализированных агентств, энергетической промышленности (включая операторов передающих систем) и ведущие ученые мира. Целью экспертного семинара было обеспечить защиту электрических сетей от природных бедствий: геофизических (землетрясений, вулканов, оползней); гидрологических (наводнений, оползней, лавин); метеорологические (штормов) и климатологические (экстремальных температур, засух). Семинар собрал воедино знание и опыт различных стран и организаций относительно полного процесса защиты электрических сетей от природных бедствий. Это включает оценку риска (идентификация угроз, оценивание уязвимостей, идентификация и количественная оценка потенциальных убытков); готовность к риску, защиту и снижение рисков (включая технические и физические средства защиты и их планирование, а также организационные способы, создание мощностей, раннее предупреждение и способы внутреннего контроля); управление риском (управление в рамках чрезвычайной ситуации); восстановление (дублирование снабжения и предупредительный ремонт); возмещение риска (реконструкция, финансирование, ремонт и восстановление).

Данное руководство объединяет рекомендации ведущих экспертов, такие как необходимость усиленного сотрудничества различных участников процесса, улучшение уровня осведомленности о риске и вовлечение представителей гражданского общества. Одной из рекомендаций стало продолжение сотрудничества ключевых участников процесса из национальных государственных органов, региональных и негосударственных организаций, бизнес-сообщества, ученых, агентств развития и финансовых институтов.

Новизна этого руководства заключается в многогалосии статей, которые оно содержит, и позволяет читателю получить целостный взгляд на усилия по защите электрических передающих сетей в рамках полного цикла снижения риска катастроф и аварийных отключений. Руководство также отражает взгляды и перспективы экспертов из различных секторов, таких как операторы систем передач, страховые компании, национальные власти гражданской защиты, неправительственные организации, международные и многосторонние организации, ученый мир. Данное руководство не ставит своей целью быть пошаговым справочником и гидом. Его главная цель – предоставить информацию о существующем опыте, накопленном ведущими организациями.

Данное руководство создавалось не только для экспертов, но также и для широкого круга заинтересованных лиц, таких как представители общественных и частных организаций, а также ученого и гражданского общества. Руководство также может служить в качестве рекомендаций государственным политическим деятелям, государственным властям и регулятором в делах обязанности по защите энергетических сетей, также как общественным и частным собственникам и операторам электрических сетей. Это руководство поощряет собственников и операторов инфраструктуры, ответственных за критические события, регуляторов, государственных владельцев фондов и промышленных групп, к совместному сотрудничеству для содействия целям защиты критической инфраструктуры, такой как система электропередач, от природных катастроф и рисков.





## Глава 1

# Принципы оценки и управления рисками природных катастроф

Данная глава содержит информацию об основных теориях и методах оценки и уменьшения риска и управления природными рисками, которые негативно влияют на электрические сети. Целью главы является представление целостного обзора проблемы защиты электрических сетей. Глава включает в себя не только обзор существующих рисков и их влияния, но также и других существенных системных рисков, связанных с различными технологиями выработки электроэнергии. В этой главе также обсуждается тема человеческих ошибок в оценке множественных рисков и их взаимозависимости. Охватывая весь спектр методов снижения риска аварий, в главе затрагиваются вопросы управления рисками и человеческий фактор влияния на управление рисками и мер по уменьшению этого влияния. Управление риском также включает в себя общественную и социальную составляющие. При строительстве новых электрических сетей должны быть учтены ключевые концепции эффективной культуры корпоративной безопасности.

В главе содержится обзор существующих методов оценки рисков разработанных Швейцарской высшей технической школы Цюриха, методов оценки множественных рисков и их взаимозависимости, разработанных в AMRA, Италия. Также глава включает обзор множественных опасностей для электрической сети, изучаемых в Технологическом институте Карлсруе, Германия и в Вирджиния Тех, США, а также оценку системной надежности электроэнергетических систем и выявление вклада сетевого и генерирующего звеньев в показатели системной надежности, разработанную Институтом Систем Энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского Отделения Российской Академии Наук. Обзор вопросов управления риском включает: социально-экономические последствия от системных аварий, изучаемых в Университете Иоганна Кеплера, Австрия и в Вирджиния Тех, США, совместного управления улучшением восстановления функций электрической сети Germanwatch, Германия и культуры безопасности в CESys, Словакия. Глава завершается вкладом Австрийского агентства окружающей среды в вопросы влияния на климат при повреждении электропередающей системы.

## 1.1. Ключевые элементы анализа оценки рисков для электроэнергетических сетей

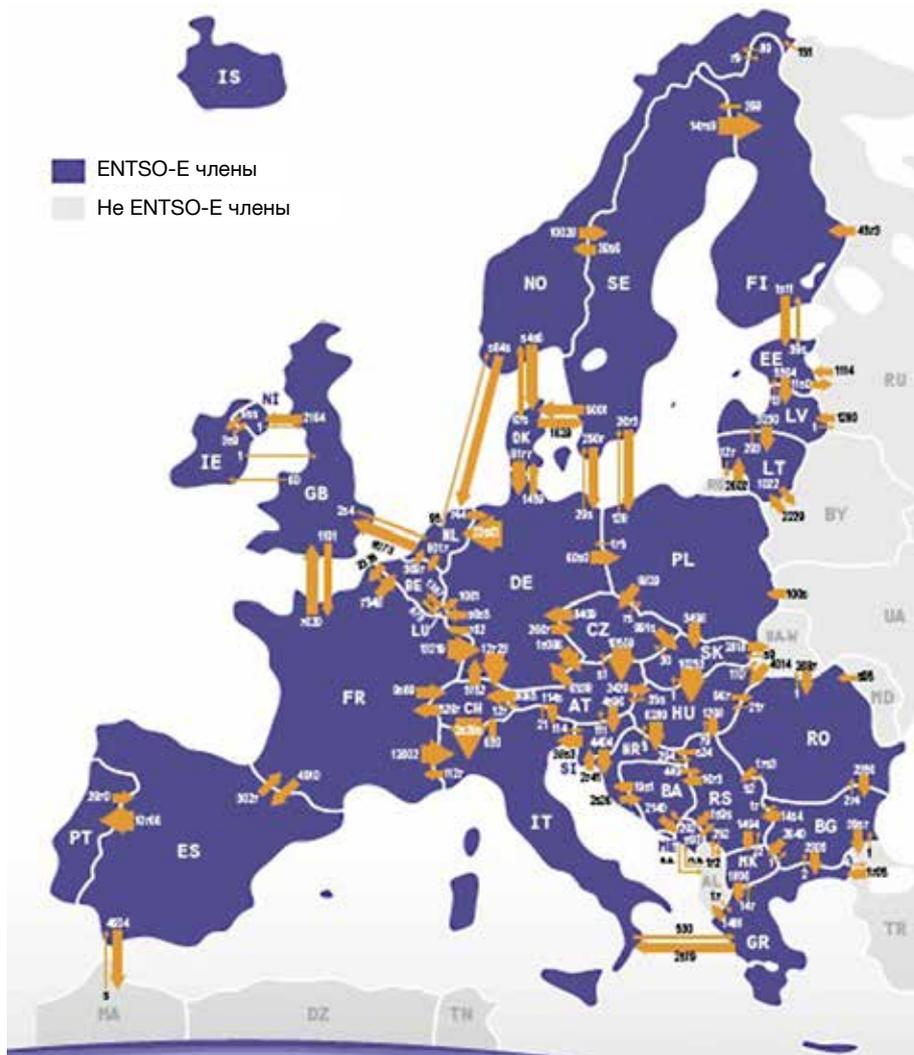
Вольфранг Крёгер (Wolfgang Kröger)  
и Джованни Сансавини (Giovanni Sansavini)

Швейцарский федеральный  
технологический институт (ETH),  
Цюрих, Швейцария

Тесно взаимосвязанная европейская система магистральных линий электропередачи сгруппирована в 5 синхронных зон и управляется 41 системным оператором (СО) на территории 34 европейских государств (Рис. 1).

В настоящее время в глобальной энергетике произошли политические и организационные изменения, а именно, увеличение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и появление европейского разъединенного международного энергетического рынка, что стало причиной следующих перемен в электроэнергетической системе: (а) интеграция прерывающихся асинхронных источников энергии, в малонаселенных районах и вырабатывающих электроэнергию в периоды низких нагрузок (например, ночные часы). Таким образом, в данных условиях требуются ресурсы для передачи значительного объема электроэнергии на большие расстояния и применение стратегии сглаживания пиковых нагрузок; (б) мониторинг передающей системы в реальном времени, как правило, осуществляется по незащищенным каналам связи и без проверки безопасности, что влечет за собой повсеместное использование коммерческого IT-оборудования и программного обеспечения; (с) спотовый рынок электроэнергии требует как данные измерений SCADA, так и данных о трансграничных обменах энергией.

Синхронная европейская система магистральных линий электропередачи управляется в соответствии с инструкциями руководства по оперативному управлению (ОН) UCTE (теперь ENTSO-E); это полный набор оперативных принци-



**Важные моменты к рисункам (2012):**

- 5 синхронных зон
- Сеть 41 системного оператора из 34 стран
- Обслуживание 534 миллионов жителей – с потреблением 3300 ТВт ч, 13% из-за границы
- 305000 км передающих сетей

**Основные цели:**

- Безопасное снабжение, надёжное управление
- Эффективность и конкурентоспособность рынков
- Оптимальное управление и техническое развитие системы

Рис. 1. Синхронная европейская система передачи.

Источник: ENTSO-E Мемо 2012.

пов, технических стандартов и рекомендаций для СО в континентальной Европе, цель которых - поддержание безопасности при управлении объединенной, синхронной сетью и обеспечение способности взаимодействия между всеми СО, при том, что каждый СО остается ответственным за собственную сеть. В частности, СО не имеет право вмешиваться в рыночную деятельность, если системе не угрожает опасность.

Надежность электроэнергетической системы (ЭЭС) как конкретизация понятия «безопасность» определяется, как способность к:

- обеспечению нормальной работы системы;
- ограничению количества аварий и недопущению крупных аварий;
- смягчению последствий крупных аварий при их появлении.

Для того, чтобы гарантировать надежность системы должна быть обеспечена защита от трех основных событий: а) каскадного отключения; б) коллапса напряжения или коллапса частоты; в) потери синхронизма.

Для обеспечения «режимной надёжности» при внезапных возмущениях при оперативном планировании в режиме

реального времени важное значение имеет принцип N-1, с помощью которого можно определить аномальные состояния системы. К таким «возмущениям» могут относиться неожиданная авария, отказ элемента системы или множественный отказ элементов системы. Ситуации, которые приводят к отключению элементов, определяются как «случайные». В соответствии с принципом N-1, при отказе одного элемента в системе, система должна обеспечить требуемые потоки мощности и не приводить к каскадному выходу элементов из строя. Принцип режимной надёжности N-1 должен просматриваться в каждый момент функционирования системы каждым СО для собственной системы и для некоторых частей смежных систем. После аварии каждый СО должен вернуть систему к нормальным параметрам по принципу N-1 как можно скорее.

Существует 3 типа аварийных ситуаций: «нормальная», заключающаяся в отказе одного элемента, такого как линия; «необычная», заключающаяся в отказе двух элементов, находящихся в одной системе, на большом расстоянии друг от друга; и «вне досягаемости», заключающаяся в отказах с очень малой вероятностью. Списки аварийных ситуаций должны быть разработаны СО и приниматься во внимание при расчете режимной надёжности по критерию N-1. Таким образом, N - 1 является лучшим детерминированным крите-

**Одна цель**

«Исключение развития каскадных аварий с влиянием на соседние системы»

**Два обязательства**

- 1 — Обязательство для каждого СО по мониторингу последствий событий, определенных в его резервном списке (= нормальный + непредвиденные ситуации) и обязательство по предупреждению соседних систем, во время опасной ситуации внутри собственной системы при любой оперативной стадии планирования в режиме реального времени
- 2 — Обязательная всесторонняя координация всех действий в регионе для лучшей оценки внутренних действий каждого СО

**Три модели поведения**

- 1 — «Быть осведомленным о риске», даже если меры по предотвращению опасности оказываются неуспешными из-за слишком высокой стоимости (ситуации потенциальной опасности).

- 2 — «Лучшие попытки исправления опасных ситуаций» для выработки мер по ликвидации опасных ситуаций, это не всегда возможно или достаточно эффективно, когда один СО пытается предотвратить опасную ситуацию.
- 3 — Понимание влияния внутренних оперативных решений на другие части системы (переключения, повторные включения, плановые отключения потребителей, оценка возможностей).

**Оценка риска: отношение к соседним системам.**

Каждый СО отвечает только за работу своей собственной системы. Но он обязан информировать соответствующих соседей в случае, если вероятность появления некоторых рисков внутри собственной системы находится за границей допустимых значений.

**Координация работы всех СО.**

В рамках двусторонней, многосторонней или региональной координации действий предлагается оценить риски, в целях обеспечения эффективности оперативных решений и мер по исправлению опасных ситуаций.

Рис. 2. Краткое изложение принципа N-1, согласно инструкции ENTSO-E по оперативной работе.

Источник: ENTSO-E Operational Handbook

рием, который дополняется вероятностным подходом, для исключения непредвидимых ситуаций (см. рис. 2).

Оценку режимной надёжности ЭЭС можно условно разделить на статическую и динамическую. Оценка статической режимной надёжности осуществляется по принципу N-1 и включает в себя: 1) вычисление доступной пропускной способности связей ЭЭС и выявление узких мест системы до наступления непредвиденных опасных ситуаций; 2) оценка напряжения на шинах и оценка пределов допустимых перетоков по линиям электропередачи после возникновения опасной ситуации. Основной проблемой оценки статической режимной надёжности является каскадное отключение.

Оценка статической режимной надёжности предполагает, что каждый переход от нормального состояния к опасному состоянию происходит без каких-либо нестабильных (колебательных) явлений. При оценке динамической режимной надёжности оценивается устойчивость и качество перехода от нормального состояния к опасному состоянию после непредвиденных обстоятельств. Главными проблемами при этом являются коллапс напряжения, коллапс частоты и потеря синхронизма. Основные составляющие оценки динамической режимной надёжности охарактеризованы в докладе № 325 CIGRE.

Управление режимной надёжностью в последнее время усложнилось из-за: 1) увеличения доли возобновляемых источников энергии; 2) расширение международного энергетического рынка; и 3) появление и развития активных потребителей. Несомненно, появление этих тенденций изменяет условия эксплуатации системы, воздействуя на генерацию на входе и на потребление на выходе, что вынуждает опера-

торов системы непрерывно контролировать и управлять состоянием системы в пределах границ режимной надёжности.

## 1. Область применения, цели и меры анализа рисков; иллюстрация результатов; контрастные условия.

Не существует общепринятого определения понятия риск. Для выражения риска в рамках его анализа существует традиционное толкование, что риск является свойством анализируемой системы и что он включает в себя вероятность того, будут ли происходить нежелательные события, и показывает, насколько серьезными будут их последствия. Более поздняя интерпретация данного понятия говорит, что имеется неотъемлемая вероятностная постанковка, описывающая систему и происходящие в ней события, и насколько могут быть серьезными последствия этих событий, будучи зависимыми от состояния знаний (Хокстэд (Hokstad) 2012).

Что касается функционирования энергосистемы, мы принимаем определение оценки риска, как произведение «вероятности события на ожидаемые потери». Потери могут быть выражены либо в финансовом эквиваленте, либо, что чаще всего принимается для ЭЭС, потерей потенциальной мощности или потерей энергии. Следующая формула определяет количественную связь риска  $R_i$ , связанного с событием  $i$ :

$$R_i = P_i * S_i \text{ where } S_i = G_i * D_i$$

где  $P_i$  это вероятность события  $i$  основанная на времени (а именно, час),  $S_i$  это степень тяжести последствий, выраженная в неэнергетических терминах (тяжесть определяется как произведение глубины тяжести  $G_i$  на время восстановления  $D_i$ ).

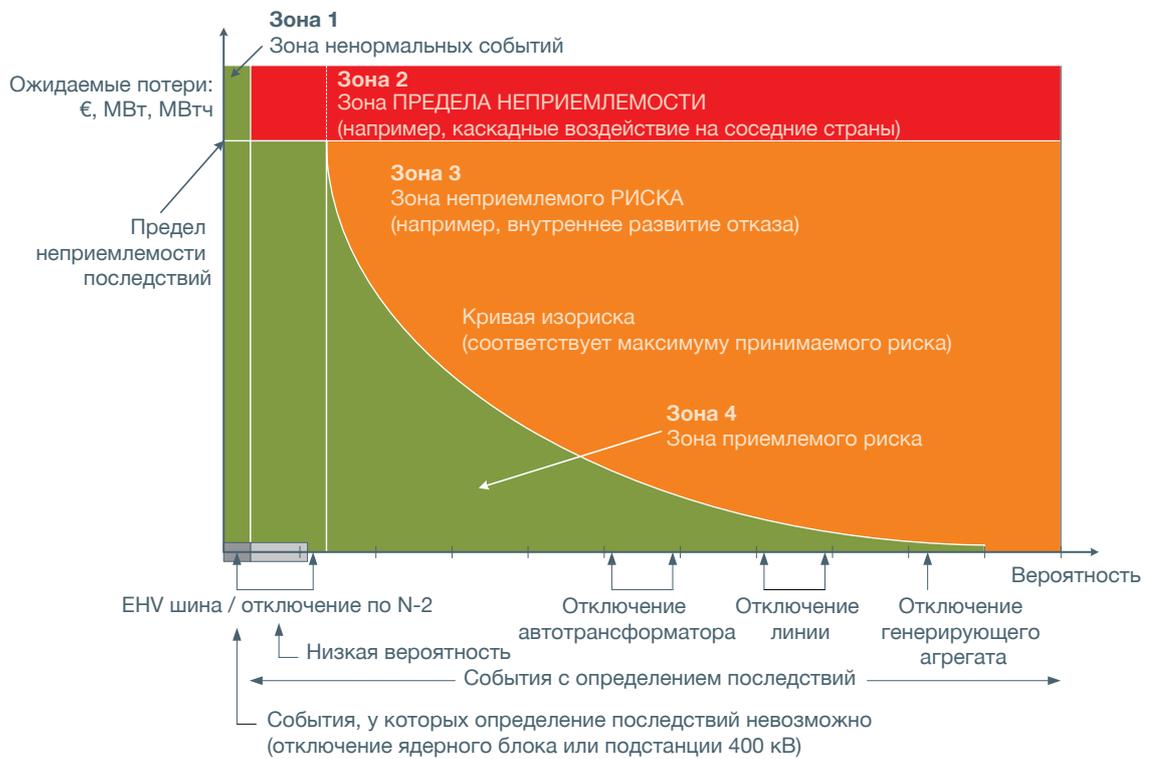


Рис. 3. Кривая изориска UCTE (сейчас ENTSO-E)<sup>1</sup>.

Источник: ENTSO-E Operational Handbook

Как говорилось выше, определение риска основывается на недоотпущенной энергии, также возможно оценить стоимость  $C_i$  этого риска:

$$C_i = R_i * \epsilon$$

Результат анализа риска может быть проиллюстрирован в регистре риска, то есть в таблице с нежелательными событиями в отдельных строках и типичными заголовками столбцов, такими как 1) Опасность / угрозы в чрезвычайных ситуациях; 2) возможное совпадающее событие, разрушение; 3) вероятность события; и 4) возможные последствия. Результаты могут также быть отображены в виде матрицы риска с вероятностями и тяжестью нежелательных событий по осям и цветными допустимыми режимами. Диаграмма Частота-Последствия - это один из самых выразительных способов представить результаты анализа риска, позволяющий увидеть уровни риска, которые должны соблюдаться для всех видов событий и нормируемые значения, рис. 3 (источник: ENTSO-E Operational Handbook).

Оценка риска системы передачи электроэнергии (мощности) обычно проводится после фазы создания и планирования системы. В качестве примера, хотя принцип N - 1 используется и при оперативном управлении, он должен соблюдаться уже при планировании ЭЭС, ограничения связанные с риском должны быть использованы на фазе оптимизации системы.

Надежность измеряется в терминах вероятности того, что система или компонент способен выполнять требуемые

функции в заданное время, или в течение определенного периода времени, при заданном наборе условий. Что касается ЭЭС, надежность характеризует степень выполнения элементами системы своих функций, которая (степень) выражается в поставке электроэнергии клиентам необходимого качества и в нужном количестве. Таким образом, надежность ЭЭС может характеризоваться следующими способностями:

- удовлетворять потребителей по снабжению их электроэнергией в любое время, с учетом плановых и внеплановых отключений элементов системы («адекватность»);
- противостоять внезапным возмущениям, таким как короткие замыкания или непредвиденные отключения элементов системы («безопасность»).

Хотя термин риск используется главным образом для выражения неопределенности в отношении неблагоприятных событий, концепция уязвимости (Хокстэд (Hokstad) 2012) связывает данное понятие больше с характеристиками системы. Внимание в анализе уязвимостей уходит от анализа возможных неблагоприятных события в системе и фокусируется на определении возможности восстановления основных функций системы наилегчайшим способом. Например, анализ уязвимости энергоснабжения направлен на изучение способности системы выдерживать неблагоприятные события и угрозы, такие как обрыв линии, диверсий и старения. Часто, анализ уязвимости расширяет регулярные пределы системы, то есть, он фокусируется не только на количестве пострадавших конечных потребителей, но и на воздействии, например, на кого оказывается влияние (например, больница или стратегическая компания в регионе), а также мер, осуществляемых для смягчения последствий (например, мобильные газовые электростанции).

<sup>1</sup> Данный документ, а также другие главы из UCTE не могут быть воспроизведены без предварительного согласия со стороны UCTE. Все права на публикацию должны быть предварительно обсуждены с ENTSO-E <https://www.entsoe.eu/publications/system-operations-reports/operation-handbook/Pages/default.aspx>

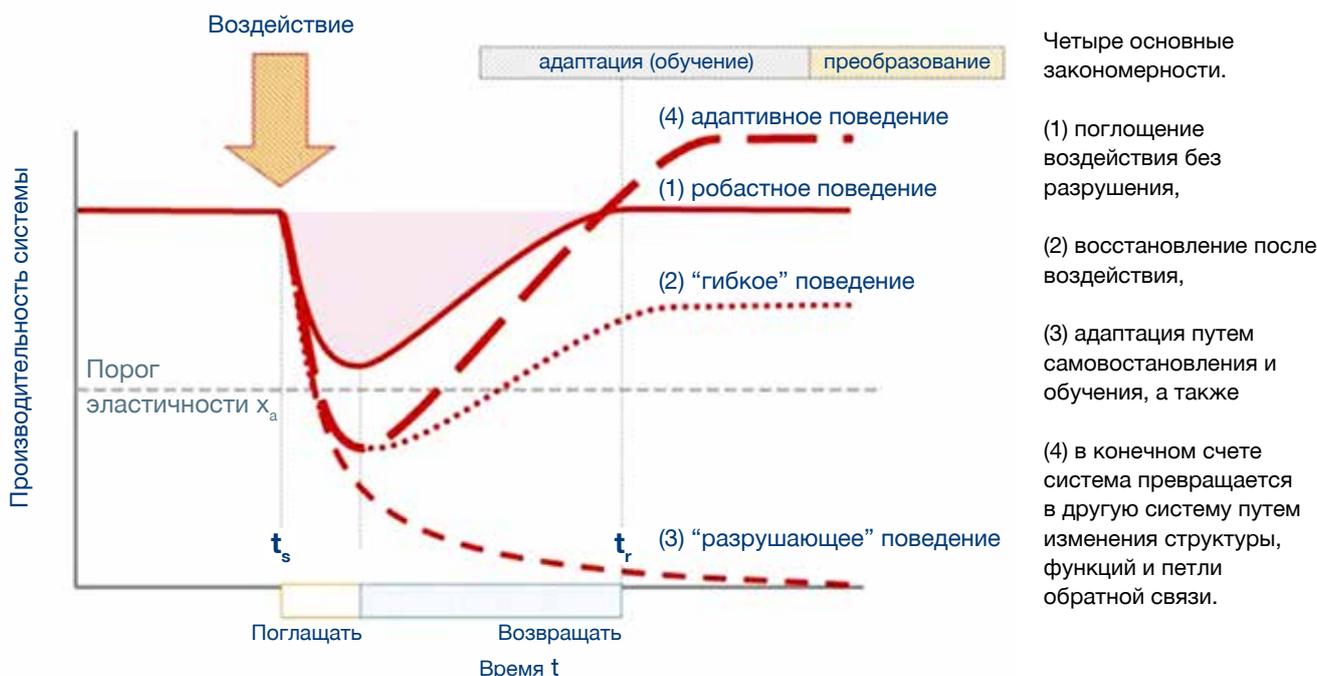


Рис. 4. Основные закономерности устойчивого поведения

Источник: Хейнимэнн (Heinimann), 2014.

Концепция устойчивости к внешним возмущениям была разработана и исследована в различных областях, но единого общепринятого определения нет до сих пор. В основном, под устойчивостью к внешним возмущениям понимается способность системы реагировать и восстанавливаться после непредвиденных нарушений и событий. Устойчивость это способность системы или «системы в системе», противостоять / поглотить неблагоприятные воздействия разрушительной силы и скорости, после которых она может вернуться к необходимой функциональности; основные закономерности показаны на рис. 4.

В зависимости от способности ЭЭС к адаптации, самоорганизации и восстановлению, система может либо сколлапсировать до нулевого уровня или восстановиться и достичь еще более высокого уровня, чем до воздействия.

Оценка устойчивости ЭЭС помогает определить лучшую стратегию для восстановления работы системы и минимизировать возникающие потери. Также оценка устойчивости позволяет количественно оценить меру между инвестициями в надёжность системы и инвестиций на восстановление системы. На самом деле, система, которая благополучно восстанавливается после возмущений и не испытывает больших отклонений производительности, но не может достичь необходимой производительности длительное время, не может быть более удобной и жизнеспособной, чем система, которая способна быстро восстанавливать свою необходимую производительность.

## 2. Характеристики электрических сетей, опыт произошедших событий.

Электроэнергетическая передающая система является широкомасштабной, многокомпонентной, пространственно распределенной, многосвязной сетью с многочисленными

взаимозависимостями, которые являются открытыми к прямым воздействиям (локальным или масштабным). Некоторые воздействия относятся к рыночным. Эти сети являются высоко интегрированными системами со сложным поведением, то есть, с потенциалом для нелинейностей, динамики, каскадам, коллапсированием, петлями обратной связи, со слабой зависимостью от других критических инфраструктур (КИ), в частности, для плохих пусков.

В доказательство присущей электрическим сетям сложности можно привести несколько крупных аварий, произошедших в последнее десятилетие, показанных в табл. 1 (страница 16). В частности, на рис. 5 (страница 17) подробно описываются сложности, связанные с разделением системы, которая произошла в синхронной европейской системе передачи в 2006 году.

## 3. Концептуальные и аналитические основы и фазы оценки риска

Для примера, Крогер (Kröger) и Зио (Zio) (2011) предложили концептуальную основу анализа риска/устойчивости КИ, в ней собраны все системные аспекты и атрибуты для использования разнообразных возможностей и имеющихся моделей и подходов для моделирования. Анализ уязвимости предназначен для ответов на следующие вопросы: конечные состояния, представляющие интерес для данных систем; допустимые границы; угрозы и опасности, имеющие отношение к восприимчивости системы; результирующие каскады; система взаимозависимостей и их влияние; степень неопределенности; обозримые и необозримые («скрытые») уязвимости должны быть сокращены и управляемы.

Концептуальная основа анализа уязвимости это пошаговый, проблемно-ориентированный подход, приспособленный к потребностям анализа, в котором можно выделить

Таблица 1. Основные погашения последнего времени

Погашение		потери (ГВт)	Продолжительность (ч)	Масштаб воздействия	Основные причины
14.08.2003	Великие Озера	~ 60	~ 16	50 млн	Плохое обслуживание, отказ автоматизированной системы управления (АСУ), слабая координация между соседними СО
23.09.2003	Дания/Швеция	6,4	~ 7	4,2 млн	Повреждение двух независимых элементов (не соблюдение критерия N-1)
28.09.2003	Италия	~ 30	До 18	56 млн	Перегрузка линии СН-1, короткое замыкание на линии, плохая координация между соседними СО
12.07.2004	Афины	~ 9	~ 3	5 млн	Коллапс напряжения
25.05.2005	Москва	2,5	~ 4	4 млн	Пожар на трансформаторе, повышенное потребление, приведшее к его перегрузке
22.06.2005	Швейцария (электроснабжение железной дороги)	0,2	~ 3	200000 пассажиров	Невыполнение правила N-1, ошибки в документации по линиям, неадекватная аварийная сигнализация
14.08.2006	Токио	?	~ 5	0,8 млн. домов	Повреждение магистральной линии из-за строительных работ
4.10.2006	Западная Европа (планируемое отключение линии)	~ 14	~ 2	15 млн. домов	Перегрузка линии, нарушение правила N-1, плохое взаимодействие между СО
10.10.2009	Бразилия, Парагвай	~ 14	~ 4	60 млн.	Короткое замыкание на ключевой линии электропередачи из-за плохой погоды. Отключение Итайпу ГЭС (18 ГВт)
11.03.2011	Северный Хонсю, Япония	21	Дни	40 млн.	Разрушение системы в результате землетрясения и цунами / обрыв питания / веерные отключения
22.12.2013	США/Канада, системная авария	22	От несколько часов до 7 дней	1 млн	Массовые повреждения ЛЭП и деревьев из-за ледяного дождя и снега в результате ледяного шторма
31.03.2015	Турция	33	8	76 млн	Сочетание событий высокой генерации на ГЭС, снижение тепловой генерации и ремонт ЛЭП Восток-Запад

пять этапов, несколько точек принятия решений, а также петли обратной связи (рис. 6, страница 18).

Первый шаг, подготовительная фаза (шаг 1) объединяет задачу кодирования и объединения в процессе ознакомления с системой. Также на данном этапе важно принять решение о спектре опасностей и угроз, которые будут включены в анализ. К тому же необходимо глубоко понимать модели отказа и воздействия на каждый элемент. Для более эффективного скрининга системной уязвимости, должны быть сделаны некоторые упрощения, к которым необходимо вернуться на более позднем этапе оценки. Кроме того, база знаний должна быть проверена на предмет наличия методов, пригодных для решения поставленных задач.

Цель и задачи анализа влияют на степень детализации, например, оценка взаимозависимостей и каскадных аварий или ширина границы системы. Предполагается, что анализ уязвимости должен проводиться в два этапа, в случае необходимости. Сетевой анализ (шаг 2) может быть эффективным и достаточным, чтобы определить очевидные слабые места (например, плохая топология, пространственная близость взаимосвязанных систем или узкие места), а также дальнейшие действия должны быть направлены на устране-

ние или уменьшение слабых мест. Сетевой анализ также может подготовить почву для углубленного анализа, который может оказаться необходимым и привести к пониманию адекватности системы; мы предполагаем, что информация, представленная от владельцев системы / операторов дает общее понимание основных функций, состояний релевантности, интерфейсов и взаимозависимостей. На этом этапе основное внимание уделяется мнению экспертов, мозговому штурму и т.д., а не на применении детальных моделей. Если результаты и сделанные выводы сетевым анализом не удовлетворительные («нечеткие») и уязвимости оказались все еще скрытыми, то должен быть сделан более сложный углубленный анализ (шаг 3).

Для достижения более высокой точности при оценке уязвимости, система понимания должна получать дальнейшее развитие в направлении дополнительной информации о системе и ее операционной среде. Особое внимание следует уделить взаимозависимости внутри системы и между системами. Переоценка сделанных ранее упрощений может потребовать более сложных методов анализа, а также интеграции двух процессов всеобъемлющего спектра различных явлений. В то время как валидация и верификация моделей и методов, а также результатов, кажется неосуществимой, контроль-

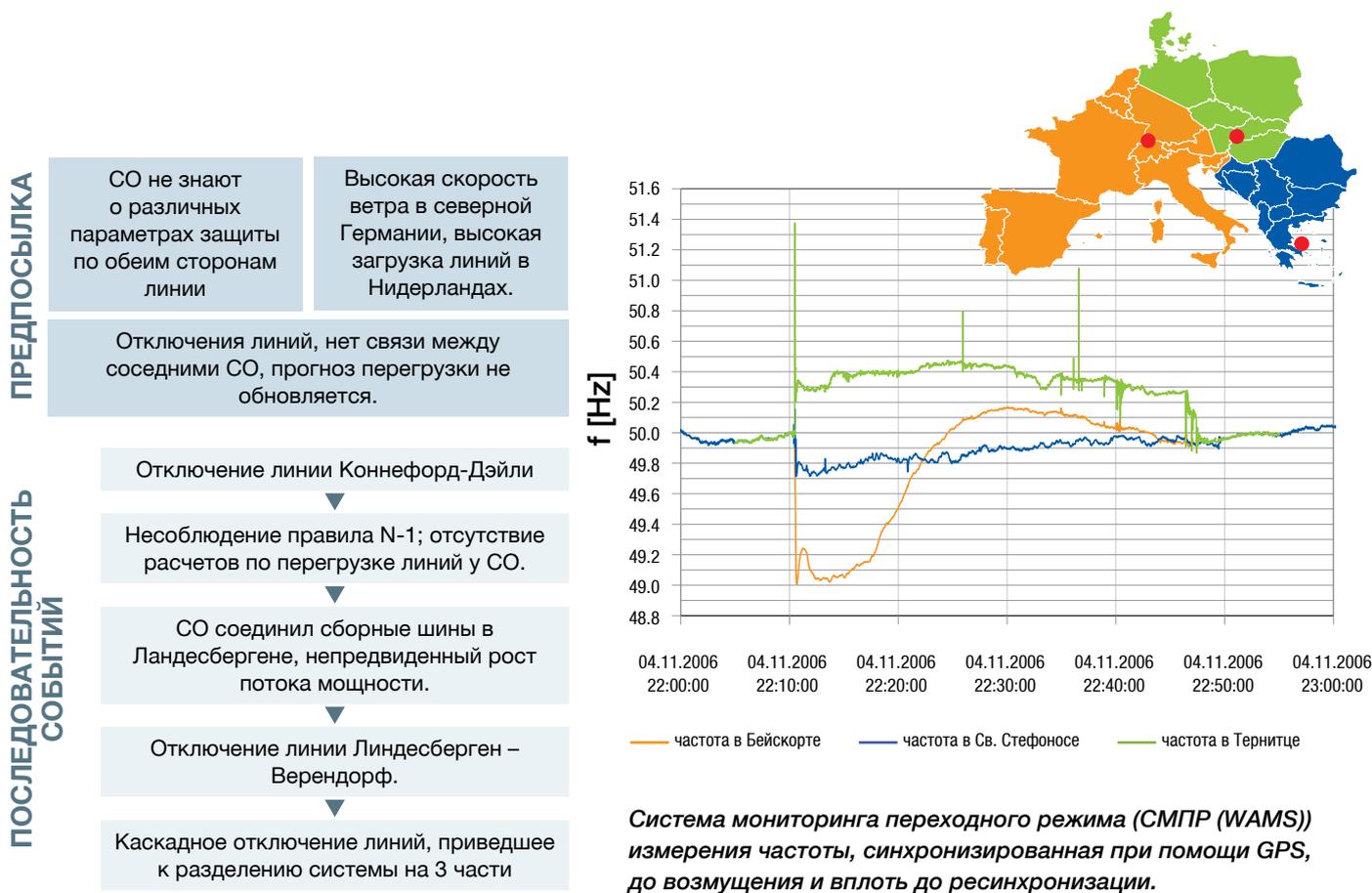


Рис. 5. Разделение системы, которое произошло в передающей сети Западной Европы в 2006 году.

Источник: Финальный отчет – Развал системы 4 ноября 2006 г., UCTE

ные показатели в отношении подобных анализов, проверки достоверности и проверки в отношении опытных событий, если таковые имеются, могут помочь поддержать доверие к оценке уязвимости и укреплению доверия к принятым решениям. Улучшения в системе (шаг 5) могут быть предложены для дальнейшего сокращения и более эффективно управления уязвимостями любыми возможными средствами.

#### 4. Обзор методов и подходов; необходимые данные и вычислительные затраты.

Применяемые подходы моделирования имеют различную природу (например, функциональную или структурную, различные уровни абстракции, различные направленности, задачи и показатели, разную степень зрелости) и основаны на различных уровнях доступной информации и знаний. Сложилось такое общее мнение, что универсального, всеобъемлющего подхода или модели для учета всех вопросов не существует. Можно выделить три основных метода исследования: исследования, основанные на знаниях, методы, основанные на моделях, и лучшая практика.

##### I. Исследования, основанные на знаниях.

Они используют статистические данные, включая информацию о системных авариях и базовых моделях, чтобы сделать выводы относительно будущего поведения системы. Их применимость к электроэнергетическим системам ограничена из-за получения обобщенных результатов. Эмпирические исследования или мозговой штурм направлены на

использование данных, собранных путем опроса экспертов и / или анализа прошедших событий, для получения информации и улучшения понимания системы уязвимости и риска. Такой подход, основанный на знаниях, прост и понятен. Он обеспечивает качественную оценку тяжести аномальных состояний системы и может рассматриваться как эффективный метод скрининга. Однако, этот подход основан на сведениях из собранной информации, а это означает, что точность результатов зависит от качества и интерпретации собранной информации.

Необходимые данные: статистические данные о прошлых событиях (например, причины отказов, последовательность аварийных событий, приводящих к значительным потерям, реакция устройств защиты, влияние на поставки, продолжительности перебоев и т.д.) могут накапливаться из отчетов, собранные СО и отчетов национальных энергетических компаний.

##### II. Моделирование и симуляция.

Имеются современные подходы моделирования, которые являются доступными для применения и получили широкое распространение, такие как, моделирование неработоспособности ввода-вывода (ИМ), теория сложной сети (CN), агентное моделирование (АВМ) и другие подходы (см. Крогер (Kröger) и Зио (Zio) 2011).

ИМ подход отражает зависимость между инфраструктурными системами с помощью математических моделей. Предполагается, что каждая система может быть смодели-

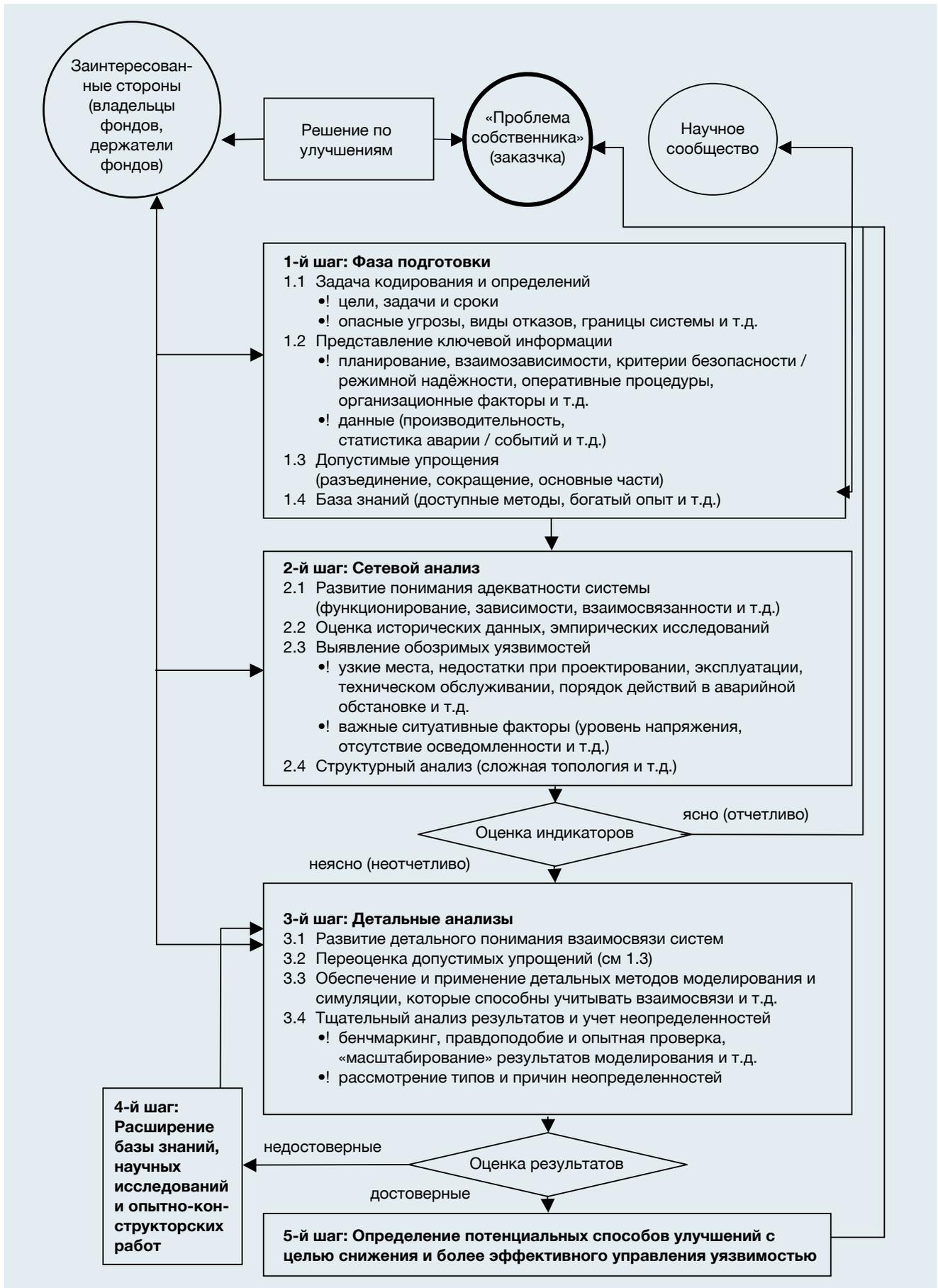


Рис. 6. Концептуальная структура анализа риска / уязвимости взаимосвязанных инфраструктур (блок-схема иллюстрации; двойные стрелки обозначают двустороннее взаимодействие)

Источник: Крогер (Kröger) и Зио (Zio) 2011

рована как отдельный элемент, уровень работоспособности которого зависит и от работоспособности других систем, взаимосвязи между ними описываются математически на основе базовой модели Леонтьева, которая является математической моделью высокого уровня. С помощью подхода ПМ возможно анализировать влияние каскадных аварий на взаимозависимые отрасли экономики (например, социальные последствия отключений электроэнергии; Хаймес (Haimés) и др. 2005).

Основы теории CN-подхода формируются на теории графов. Данный подход подразумевает связь между системами, которые отображаются в виде узлов, соединенные множеством связей, которые в итоге характеризуют их топологию. Имеется ряд работ по моделированию, где используется данный подход для разработки моделей системной инфраструктуры и оценок, связанных с взаимозависимостью элементов, и тем самым демонстрирующих способность представлять отношения, установленные через соединения между элементами системы (Крогер (Kröger) и Зио (Zio) 2011; Булдырев (Buldyrev) 2010). Теория CN-подхода основана на модели сети и отображает физическую конфигурацию компонентов (узлов) изучаемых инфраструктурных систем и их (физических или логических) взаимосвязей (связей). Анализ топологических свойств сети дает полезную информацию о структурных свойствах, топологической уязвимости, а также уровень функциональности, требуемой для его компонентов. Однако данный подход не учитывает неопределенные и динамические характеристики инфраструктурных систем и свойств системы, в то время как в системе происходят динамические процессы, действующие на сети. Например, коллапс напряжения или нестабильность частоты в электроэнергетической системе не учитываются в моделях CN-теории.

В подходе АВМ, каждый агент характеризуется внутренними данными, своим поведением, окружающей его средой и приспосабливается к изменениям окружающей среды (Д'Инверно (D'Inverno) и Лак (Luck) 2004). Агент может быть использован для моделирования как технических компонент (например, линия электропередачи), так и нетехнических компонент (например, человек-оператор) (Склапфер (Schläpfer) и др. 2008). Правила поведения каждого агента представлены в виде конечных автоматов, которые могут быть как детерминированными, так и стохастическими, зависящие от времени дискретных событий. Подход АВМ дает более лучшее представление о поведении системы путем интегрирования спектра различных явлений, которые могут возникнуть, например, генерируя стохастическое репрезентативное множество зависящих от времени событий. Тем не менее, этот подход требует большого количества параметров, определяемых для каждого агента, что требуется для подробного описания исследуемых систем.

Необходимые данные: для ПМ необходимы данные по взаимному обмену продукцией между электроэнергетическим сектором и другими промышленными отраслями экономики. Для CN-теории необходимы данные по топологии системы, которые дополняются физической информацией, например, длина линии, емкость и сопротивление. Для АВМ

важны структурные и электрические свойства системы, и, в зависимости от уровня точности моделирования, могут потребоваться данные об устройствах защиты и операционных процедурах. С увеличением объема данных необходимо увеличение вычислительных ресурсов.

Эти подходы, как правило, объединены в гибридные модели для того, чтобы получить синергетический эффект, например, модели потокораспределения мощности встроены в АВМ. Комбинированные подходы находятся в стадии разработки и в настоящее время еще не созданы для практических исследований.

III. Методы лучшей практики отраженные в *Operational Handbook* (т.е. N-1 моделирование для непредвиденных ситуаций, например, анализ потока мощности, режим реального времени, и лучшие методы EPRI).

Что касается моделей оценки электроэнергетической системы, можно выделить три категории: I) оценка с ограничениями по режимной надёжности; II) онлайн-оценка риска; III) оценка каскадных отключений.

I) Модели для оценки с ограничениями по режимной надёжности используются в системе планирования. В этих моделях проводится оптимизация по критерию суммарных затрат с учетом ограничений по параметрам надежности (например, перетоков по линиям или других показателей устойчивости, чтобы параметры системы находились в пределах определенных диапазонов при возникновении непредвиденных обстоятельств). Как пример можно привести модель оптимальных перетоков мощности с ограничениями по режимной надёжности для одного продукта (производство электроэнергии) (Фу (Fu) 2005) или несколько энергетических носителей (газ + электричество) (Лиу (Liu) 2009). При этом могут учитываться рынки.

II) Онлайн-оценка риска проводится в режиме реального времени, для определения: является ли безопасным (надёжным) режим по нескольким показателям (например, перегрузкам, отклонениям напряжения, или каскадным перегрузкам) (Ни (Ni) 2003). В данных методах используются показатели производительности системы для онлайн-оценки состояния системы. Онлайн-оценка также может быть включена в процедуру оптимизации, при которой ограничения включают показатель каскадных эффектов, так называемый индекс каскадных аварий (Даи (Dai) 2012). Эксплуатационные действия или техническое оборудование не учитываются при такой оценке.

III) Модели каскадных отключений охватывают процесс распространения возмущения от локального до системного уровня. В них используется разный уровень абстракции. В электроэнергетических системах эти модели моделируют поведение электрооборудования при системных возмущениях (Вайман (Vaiman) 2012). Они могут быть статическими (использование стационарных решений, т.е. расчет режима) или динамическими (включая переходные процессы (Ян (Yan) 2015)).

Таблица 2. Контрольный список для категорирования опасностей и пусковых событий в энергосистемах Европы

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Характер	Запускающее событие	Вероятностное суждение	
<b>Природные (внешние)</b>	Метеорологические	Сильный ветер	m/p, d, a	Отказ воздушных линий электропередачи		
		Наводнение				
		Экстремально высокая температура				
		Экстремально холодная температура, снегопад, ледяной дождь				
		Экстремальные осадки, инициирующие оползни				
		Грозы				
	Геологические / геотехнические	Снежная лавина				
		Оползень				
		Землетрясение				
		Цунами				
		Извержение вулкана				
	Пожароопасные	Лесной пожар				
		Горение травы				
	Космические	Солнечные вспышки				
		Падение космических объектов				
<b>Медицинские / биологические Внутренние / внешние</b>	Человеческий фактор	Болезни				
		Эпидемии				
<b>Технические</b>	Вероятностные отказы	Обрыв ЛЭП	S, d, e			
		Неисправность опоры	S, d, e			
		Подстанция/трансформаторы	S, d, e			
	Системные аварии, старение	Обрыв ЛЭП	S, d, e			
		Неисправность опоры	S, d, e			
		Подстанция/трансформаторы	S, d, e			
		Структурный коллапс	S, d, e			
	Аварии, пожары (внутренние)	Трансформатор, подстанция				
		Диспетчерский пункт				
	Близлежащие аварии	Промышленный пожар/взрыв				
		Транспорт (железнодорожный, авиационный, морской), токсическое заражение				
	Отказ системы обеспечения	ICT				
Недоступность ресурсов	Замена / ремонт элементов					
<b>Непреднамеренное вмешательство человека</b>	Отказ	Диспетчерский пункт				
		Ремонтная бригада				
<b>Намеренное вмешательство человека</b>	Вредоносные действия (физические, кибер)	Терроризм, уничтожение критически важных объектов				
		Негативное воздействие на SCADA				

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Характер	Запускающее событие	Вероятностное суждение	
<b>Управление, организационные и оперативные мероприятия (внутри / снаружи)</b>	Отсутствие культуры безопасности, осведомленности о риске	Высшее руководство		Вмешательства с экономическими последствиями		
		Диспетчера		Неадекватная симуляция по критерию N-1		
		Другие субъекты		Манипулирование настройками защитных устройств		
	Неадекватные государственные программы					
	Недостаточные знания	Отсутствие надзора за безопасностью соответствующих мероприятий			Вынужденное сокращение	
		Урезание программы				
<b>Связанные с экономикой/рынком</b>	Чрезмерная экономическое давление					

Поскольку эти модели количественно оценивают степень и масштабы системных аварий, они основаны на вероятностной оценке риска электроэнергетических систем. Данные модели трудно разработать и опробовать, потому что процедуры управления, выполняемые СО и поведение технического оборудования (автоматики) должны учитываться в них, а это не просто. В этом случае, АМВ могут быть полезными в представлении оперативных процедур и поведении технического оборудования. Включение оперативных процедур и поведения технического оборудования влечет за собой определенные допущения и подрывает общность и применимость этих моделей. Необходимые данные: Модели III.1 и III.2 требуют структуры и электрических свойств системы. Модель III.3 также требует данных об устройствах защиты и оперативных действиях, в зависимости от уровня точности моделирования. Модель III.3 является более сложной в вычислительном плане, чем модели III.1 и III.2.

## 5. Классификация опасностей / угроз; методики определения, включая контрольные списки.

ENTSO-E OH предлагает список непредвиденных ситуаций, которые должны быть приняты во внимание при моделировании по критерию N - 1. Они разделяются на следующие типы а) нормальный тип, то есть, потеря одного элемента; б) особый тип, т.е., события, которые могут привести к каскадным авариям с пренебрежимо малой вероятностью; с) вне диапазонный тип, то есть потеря совокупности элементов с очень низкой вероятностью.

Для более общей и всеобъемлющей классификации возникновения опасностей / угроз, которые могут повлиять на критические компоненты или совокупность этих компонент (m) или частей (p) ЭЭС, либо непосредственно (d),

либо косвенно (i), т.е., через отказ системы / обслуживания, которых влияет на функционирование ЭЭС. Воздействие может быть на локальный участок системы (l) или на всю систему (a); источник опасности может быть внешним или внутренним. Например, землетрясение распространяется на большую площадь, является внешним источником и может повлиять на несколько частей электроэнергетической системы (p, d) и/или косвенно (p, i). Оно может вызвать события, создающие угрозу непрерывной подачи электроэнергии («опасности / угрозы»).

Опасности / угрозы могут быть категоризованы, ранжированы и охарактеризованы, а вызывающие события могут соединяться с ними. Вероятность также может характеризовать эти опасности / угрозы в случае оценки со стороны их правдоподобности и включения в оценку риска. В табл. 2 приведен перечень для идентификации и категорирования опасностей / угроз и вызывающих ими событий в ЭЭС.

Табл. 2 предназначена для использования СО при управлении в качестве контрольного перечня для идентификации опасностей. Те опасности, которые считаются несоответствующими, могут быть отсеяны при последующей оценке риска. В табл. 2 показаны несколько примерных случаев.

## 6. Выявление уязвимостей и случайных сценариев, анализ критических элементов и контрмер.

СО используют эмпирические исследования, статистические данные, мозговой шторм и примеры системных аварий для оценки тяжести системных аномальных состояний и поиска узких мест, критических точек и критических действий. Однако, эти инструменты основаны на прошлом опыте и, возможно, в некоторых ситуациях их использование не позво-

лит сделать более точный прогноз. Таким образом, данные инструменты могут быть дополнены моделями на основе «немыслимых» или «непредсказуемых» сценариев.

Сложные методы теории цепей могут быть применены к анализу КИ: а) для помощи определения предварительных уязвимостей по топологии и анализу динамики и б) для руководства и фокусировке на дополнительном детальном анализе критических областей. Топологический анализ, основанный на классической теории графов можно представить соответствующими свойствами структуры системы (Альберт (Albert) и соавт, 2000; Строгатс (Strogatz) 2001): i) подчеркнуть роль элементов системы (узлов и соединительных дуг) (Крукитти (Crucitti) и др 2006. ; Зио (Zio) и др 2008), ii), сделать предварительные оценки уязвимости на основе моделирования отказов (в основном удалением узлов и дуг) с последующей переоценкой сетевых топологических свойств (Розато (Rosato) и др 2007; Зио (Zio) и др. 2008).

Двумя основными результатами оценки уязвимости в теории цепей являются количественная оценка показателей уязвимости системы и выявление критических элементов. Информация, которую предоставляют количественные оценки, дополняют друг друга: в то время как показатели уязвимости представляют собой параметры, включающие статические или динамические характеристики всей системы, определение критических элементов обеспечивает ранжирование компонентов критичности в отношении их эффективности подключения или их вклад в распространение отказа через сеть.

Чисто топологическая структура может быть дополнена экстраполированными весами физических особенностей энергосистемы. Например, надежность и электрические «расстояния» могут быть объединены при оценке уязвимости электроэнергетической системы и должны использоваться в качестве весов для дуг графа системы; тем самым, измерения уязвимости и сосредоточенности, оцениваемые во взвешенном анализе, включают информацию о физике услуг, предоставляемых КИ при анализе. Кроме того, анализ уязвимости сети с точки зрения ухудшения ее глобальной эффективности из-за отключения звеньев позволит ранжировать элементы сети (дуги или узлы) относительно их роли в сети глобальной эффективности коммуникаций.

## 7. Характеристика и оценка воздействий и каскадов.

Состояния электроэнергетической системы классифицируются по отношению к структуре или уровням риска нагрузки/частоты и срочности действий, связанных с риском распространения: (а) Нормальный: нет риска для взаимосвязанного функционирования системы. Все потребление и производство находятся в равновесии и требования по вспомогательным услугам в пределах нормы; частота, напряжение и потоки мощности находятся в заранее определенных и допустимых пределах, а также резерва (маржы) достаточно, чтобы выдержать заранее определенные непредвиденные обстоятельства; (б) предупреждение о трево-

ге: риск для взаимосвязанного функционирования системы находится в зоне действия опасности. Система находится в допустимых пределах. СО имеет трудности для возвращения системы в нормальное состояние после того, как произошло одно или более непредвиденных обстоятельств; (с) опасность: ухудшение ситуации (в том числе деление системы на части). Более высокий риск для соседних систем, принципы надёжности не выполняются, глобальная надёжность находится под угрозой, и нет никаких гарантий эффективности средств защиты с целью ограничения распространения аварии на соседние системы или всю систему ENTSO-E. После этого состояния система стабилизируется, может быть восстановлено функционирование частей системы (например, после сброса нагрузки или деления системы); (d) системная авария: характеризуется почти или полным отсутствием напряжения в электроэнергетической системе с последствиями в соседних системах и началом действий СО по восстановлению системы.

Системные аварии могут быть частичными (если воздействие касается только части системы) или полными (если «погасла» вся система). Из этого состояния восстановление осуществляется поэтапным включением питания и ресинхронизации электроэнергетической системы.

Сложность электрических систем создает проблемы анализа рисков и поиска для этого наиболее подходящих методов или комбинации методов. Специфическая характеристика каждого метода, цели анализа и наличие данных определяют выбор метода. Общая классификация всех возможных комбинаций этих факторов достигается при анализе конкретной системы; тем не менее, конкретные примеры могут быть идентифицированы. Модели III.1 и III.2 (раздел 4) не позволяют квантифицировать события в случае непредвиденных обстоятельств, поэтому их использование при оценке риска ограничено. Модели III.3 (Раздел 4) обеспечивают феноменологическую эволюцию состояний системы с помощью стационарной или динамической оценки, которые следуют за непредвиденными обстоятельствами. Модели III.3 в сочетании с АВМ кажутся наиболее перспективными для количественной оценки воздействий и каскадов, следующих после начальных непредвиденных событий. Эти модели в основном статические, поскольку применимость динамической оценки надежности в крупных электроэнергетических системах до сих пор неосуществимы.

Социальное влияние отсутствия электроснабжения может быть оценено путем интегрирования моделей III.3 и ИМ, чтобы распространять отказ в потреблении, ведущий к финансовым потерям потребителей, относящихся к различным промышленным секторам экономики.

Учитывая широкий диапазон опасностей, которые могут вызвать различные непредвиденные обстоятельства в электроэнергетической системе, каскадные диаграммы могут быть полезны для оценки риска каскадных аварий. Эти диаграммы представлены в обычных частота / магнитуда координатах и показывают риск развития аварий для определенного состояния системы. Соответствующая тяжесть аварии

может быть измерена либо в дефиците мощности (то есть, мощность, которую не получил потребитель) или недоотпуском электроэнергии.

Принимая во внимание оценку устойчивости электроэнергетической системы к внешним воздействиям, длительность потери питания или длительность системной аварии является важной мерой для количественного определения восстановительной способности системы. С этой целью, комбинация моделей Ш.3 и АВМ подходит для взаимодействия между СО, управления электростанциями и моделирования реакции защиты и безопасности оборудования во время переходного процесса, активизирующие начало следующего погашения.

В случае недостаточных исходных данных, методы CN-теории могут быть использованы как приближение к наилучшей модели. Это приближение приводит к повышенной погрешности, поскольку физика электрического потока лишь частично аппроксимируется CN-теорией, которая учитывает только распространение вдоль кратчайших путей, соединяющих пары элементов.

## 8. Проведение корректирующих воздействий для снижения рисков и повышения устойчивости.

Как было отмечено ранее, ENTSO-E Operation Handbook (ОН) фокусирует внимание на аспектах режимной надёжности при эксплуатации (не при планировании). В качестве ключевого принципа используется критерий N-1, который помогает избежать нештатные и небезопасные ситуации и управлять ими. Однако, аварии могут возникать и распространяться на широкой территории за короткий промежуток времени. Чтобы справиться с такими «трудными ситуациями», при которых принципы режимной надёжности не выполняются, глобальная режимная надёжность находится под угрозой, и вся система может рухнуть («системная авария»), необходимо принять меры против трудных ситуаций либо до действия автоматики, либо после этого в процессе восстановления системы. Политика ОН касается 5 вопросов при «действиях в аварийной обстановке». Основные из них: 1) осведомлённость о состоянии системы; 2) планы защиты на национальном уровне, в том числе частотную разгрузку и надёжность выполнения диспетчерских функций; и 3) процессы по восстановлению для возвращения системы к нормальному режиму работы со сложной последовательностью согласованных действий (для деталей, см UCTE Operational Handbook).

Как показывает прошлый опыт детерминированный принцип N-1 и связанная с ним концепция предотвращения и смягчения последствий, включая чрезвычайные меры, - это мощные инструменты для обеспечения высокой производительности электроэнергетической системы, но недостаточный, чтобы справиться с множественными авариями и множественными отключениями, потенциально каскадными сценариями. Таким образом, этот стандартный подход должен быть дополнен более целостным, вероятностным

подходом, который стремится добиться повышения устойчивости, в частности, для целей планирования.

Надёжность и устойчивость системы электроснабжения может быть усилена за счет следующих основных руководящих принципов, с учетом ограничений затраты-выгоды:

- Размещение резервов, средств функциональной избыточности и диверсификации, обеспечение функциональности ключевых компонентов (узлы, связи), осуществление физической избыточности и разнообразия.
- Понижение связанности системы, выполнить стратегии развязки (секционирование, FACTS).
- Разработка надёжной топологии системы, то есть обеспечения баланса взаимосвязанности как централизованных, так и децентрализованных кластеров, выявления критических узлов и предотвращение распространения аварий в них, оптимизация структуру системы (степени связности) от случайных отказов и целенаправленных атак.
- Баланс сложности, а также автоматизация и контроль человеком.
- Проектирование для работы в пределах запаса прочности, для возможности реорганизации системы в ответ на внешние возмущения, а также включение саморегулирования.
- Использование измерений в реальном времени, проверка режимной надёжности по критерию N-1 и реализация адаптивных обратных связей.
- Прогноз опасностей и угроз и связанных с ними сценариев всех возможных атак, в том числе кибератак; стремление к предсказуемости, применение новых знаний и передовых методов моделирования, а также изучения взаимозависимостей

Основное правило - это снижение взаимозависимостей (в частности, зависимость электроэнергетической системы от другой инфраструктуры), так как взаимозависимые сети значительно более уязвимы, чем их невзаимодействующие аналоги (Кенетт (Kenett) 2014).

## 9. Защита от кибератак / манипуляций кибер-физическими системами управления.

Системы электроснабжения являются автоматизированными и управляются с помощью датчиков и исполнительных механизмов и связанной с ними человеческой деятельностью. Поскольку они пространственно распределены, данные передаются между различными устройствами и центральным диспетчерским управлением. Управляющие данные и команды передаются по каналам связи. SCADA (диспетчерское управление и сбор данных) системы - как показательный пример - традиционно не имела связи с внешним миром, в то время как в последнее время наблюдается растущая тенденция к более общему назначению решений SCADA для «коммерческого готового программного обеспечения и аппаратных средств, что делает эти системы более уязвимыми для множества угроз и рисков, которым они не были подвержены прежде (Хокстэд (Hokstad) 2012). Например, данные управления часто представляют интерес

и используются торговыми субъектами, которые связаны с открытым доступом в Интернет, обеспечивая, тем самым, точки доступа к злонамеренным кибератакам.

Существует явное свидетельство того, что промышленные системы управления, такие как системы SCADA, уязвимы для угроз, STUXNET является наиболее информативным примером. Существует несколько типов целевых атак, которые могут распространяться через вредоносные ссылки, например, скрытый обман и атака ложными данными, повторная атака, атака, направленная на отказ в обслуживании, заражение червями (манипуляции с программным обеспечением).

Методы защиты доступны как для выявления угроз, так и для изучения сценариев событий потенциальных аварий. Эти методы включают в себя стандарт о том, как проводить оценку риска для ИТ-системы (ИТ-информационно-коммуникационные технологии) (например, ISO / IEC 27001 - 2005, неправильное использование диаграмм прецедентов и диаграмм дерева атак) (Хокстэд (Hokstad) 2012).

Оценивание вероятности атак на информационную безопасность и различных инцидентов обычно затруднено из-за ряда нечетких факторов, в том числе быстрых изменений в технологии и угрозах, а также из-за доминирования политических целей, умышленного (плохого) характера действий, а также отсутствия доступных статистических данных. Поэтому проектирование и эксплуатация таких жизненно важных систем представляет крайне важную задачу и заслуживает более глубокого рассмотрения.

## Литература.

Albert R, Jeong H, Barabási A-L, (2000). Error and attack tolerance of complex networks. *Nature* 406:378–382, 2000

Buldryev SV, Parshani R, Paul G, Stanley HE, Havlin S. (2010). Catastrophic cascade of failures in interdependent networks. *Nature*. 2010;vol.464:p.1025-8

CIGRE, 2007. Technical Brochure No 325: “Review of On-Line Dynamic Security Assessment Tools and Techniques”, by Conseil International des Grands Réseaux Électriques WG C4.601, 2007

Crucitti P, Latora V, Porta S, (2006). Centrality in networks of urban streets. *Chaos* 16(1–9):015113, 2006

Dai, R., Pham, H., Wang, Y., and McCalley, J., (2012). Long-term benefits of online risk-based direct-current optimal power flow, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, vol. 226, no. 1, 65-74, 2012

D’Inverno, M., and Luck, M., (2004). *Understanding Agent Systems*, Springer Series on Agent Technology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004

ENTSO-E (2012). *Memo 2012, European Network of Transmission System Operators for Electricity*, 2012

Fu, Y., Shahidehpour, M., and Li, Z., (2005) “Security-constrained unit commitment with AC constraints,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1538–1550, Aug. 2005

Haimes YY, Horowitz BM, Lambert JH, Santos JR, Lian C, Crowther KG. (2005). Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. I: Theory and Methodology. *Journal of Infrastructure Systems*. 2005;Vol.11:p.67-79

Heinimann, H.R. 2014. *Future Resilient Systems*. Booklet. 60 p. Singapore- ETH Centre. 1 Create Way #07-01, Singapore 138602

Hokstad, P., Ingrid, B., Utne and J., Vatn, (2012). *Risk and Interdependencies in Critical Infrastructures*, Springer Series in Reliability Engineering, Springer-Verlag London, 2012

ISO/IEC 27001 (2005) *Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*, International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Commission (IEC), ISO/IEC 27001:2005

Kenett, 2014, *Network of Interdependent Networks: Overview of Theory and Applications*, *Networks of Networks: The Last Frontier of Complexity, Understanding Complex Systems*, Springer International Publishing, 2014

Kröger, W., and Zio, E., *Vulnerable Systems*, Springer-Verlag London, 2011

Liu, C., Shahidehpour, M., Fu, Y. & Li, Z. (2009). Security-Constrained Unit Commitment With Natural Gas Transmission Constraints. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 24, No. 3, 2009

Ni, M., D. McCalley, J., Vittal, V., and Tayyib, T., *Online Risk-Based Security Assessment*, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18, No. 1, 2003

UCTE (2009). *Continental Europe Operation Handbook, Appendix 3: Operational Security*, European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2009

UCTE (2004). *Continental Europe Operation Handbook, Glossary of terms*, European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2004

UCTE (2009). *Continental Europe Operation Handbook, P3 – Policy 3: Operational Security*, European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2009

UCTE (2015). *Continental Europe Operation Handbook, P5 – Policy 5: Emergency Operations*, European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2015

Rosato V, Bologna S, Tiriticco F, (2007) Topological properties of highvoltage electrical transmission networks. *Electr Pow Syst Res* 77:99–105, 2007

Schläpfer M, Kessler T, Kröger W. (2008). Reliability Analysis of Electric Power Systems Using an Object-oriented Hybrid Modeling Approach. 16th power systems computation conference. Glasgow. 2008.

Strogatz SH, (2001) Exploring complex networks. *Nature* 410:268–276, 2001

Vaiman, S., (2012), “Risk Assessment of Cascading Outages: Methodologies and Challenges,” in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 2, pp. 631-641, May 2012.

Yan, J., Y. Tang, H. He and Y. Sun, “Cascading Failure Analysis With DC Power Flow Model and Transient Stability Analysis,” in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 1, pp. 285-297, Jan. 2015

Zio E, Sansavini G, Maja R, Marchionni G, (2008) An analytical approach to the safety of road networks. *Int J Reliab Qual Saf Eng* 15(1):67–76, 2008

## 1.2. Оценка множественных рисков и их взаимозависимости в критической инфраструктуре: Положение электрических передающих сетей.

**Александр Гарсия-Аристизабал (Alexander Garcia-Aristizabal)**

Центр мониторинга и анализа экологических рисков (AMRA)

### Введение.

Недавние происшествия подчёркивают тот факт, что природные или техногенные бедствия могут повлечь за собой другие события, что приводит к значительному увеличению числа жертв и разрушений. Таким образом, существует растущая заинтересованность среди риск-менеджеров в способах организации оценки различных типов опасностей и рисков с учётом сценариев каскадного эффекта (Сколобиг (Scolobig) и др. 2014). А вопросы уязвимостей и производительности являются объектами пристального внимания со стороны научного сообщества и законодателей. Под термином «критическая инфраструктура» понимаются те её элементы, повреждение или разрушение которых могут

вызвать серьезные нарушения в работе всей системы. А перебои в функционировании таких систем могут иметь серьезные последствия для экономики, повседневного уклада жизни и национальной безопасности (например, Холмгрен (Holmgren) 2006). В этой главе мы приводим краткое обсуждение способов оценки множественных рисков для критически важных инфраструктур, принимая во внимание особенности воздействия многочисленных стихийных бедствий на электрические сети (рис. 7).

Типичная магистральная сеть электропередачи включает в себя ряд элементов, которые мы можем сгруппировать в такие классы как: генерация электроэнергии («ресурсы» на рис. 7), магистральные сети высокого и среднего напряжения и сети распределения среднего и низкого напряжения («сток» на рис. 7). В анализе сетей данные элементы образуют вершину сети и являются ключевыми моментами для анализа уязвимостей (например, Поляншек (Poljanšek) и др. 2012; Кавальери (Cavalieri) и Франчин (Franchin) 2014; Корреа-Хенао (Correa-Henaо) и др. 2013).

Использование подхода множественных рисков обеспечивает ряд преимуществ: (1) гармонизация свойственных рисков способствует сравнению и ранжированию различного рода рисков; (2) выявление и количественная оценка сценариев каскадного эффекта способствует определению его возможных последствий, что является важной предпосылкой для повышения готовности; (3) подход множественных рисков обеспечивает основу для оценки эффекта от различных методов смягчения рисков.

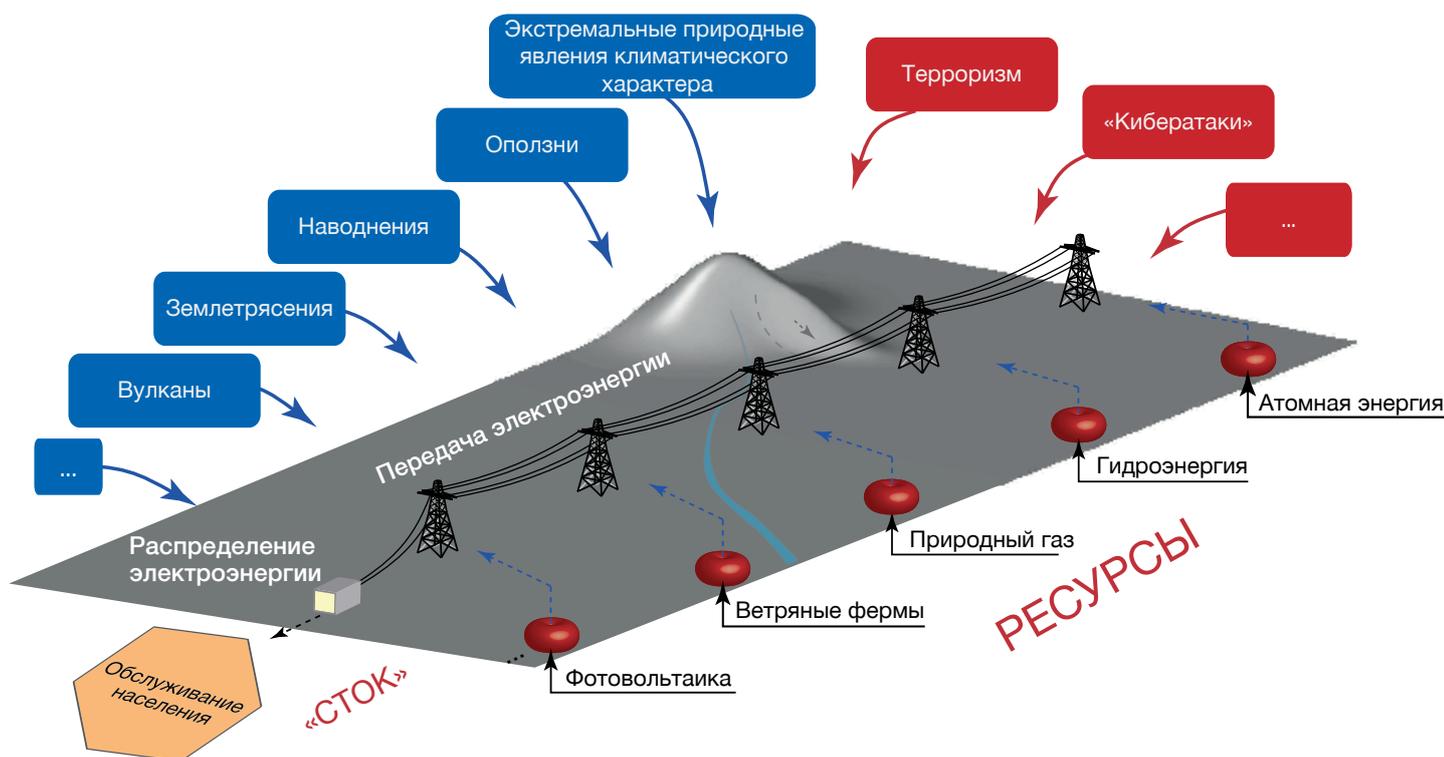


Рис. 7. Представление электрической сети.

Источник: автор

Характерные черты как анализа множественных рисков, так и поведения электросетей значительно усложняют задачу реализации множественного подхода. Опасные природные явления очень часто становятся причиной повреждения элементов сети. Таким образом, реакция инфраструктуры сети сильно зависит от физических уязвимостей входящих в неё элементов, что в свою очередь зависит от их структурных характеристик (например, Поляншек (Poljanšek) и др. 2012). Риски, связанные с различными видами стихийных бедствий, например, с извержением вулканов, оползнями, наводнениями или землетрясениями (рис. 7), как правило, оцениваются с помощью различных процедур, что приводит к несопоставимости отдельных результатов и игнорированию возможных взаимодействий (Марзоччи (Marzocchi) и др. 2012). Однако, при этом сами события, повлиявшие на одни и те же элементы инфраструктуры, могут коррелировать друг с другом (например, наводнения и селевые потоки могут быть вызваны штормом) или одно событие может вызвать другое (например, землетрясение вызывает оползни) или же несколько независимых событий происходят в небольшой промежуток времени (например, ураган и землетрясение). При рассмотрении возможных последствий взаимодействия различных природных опасностей может возникнуть ситуация, когда их сочетание значительно больше, чем просто их сумма по отдельности (Марзоччи (Marzocchi) и др. 2012).

### Комплексная оценка риска в системах электросетей.

Под комплексной оценкой риска может пониматься процесс определения всеобъемлющего риска из нескольких опасностей, принимая во внимание возможные опасности и взаимодействие уязвимостей (например, Гарсия-Аристизабал (Garcia-Aristizabal) и др. 2015). В этом контексте каскадные эффекты являются результатом взаимодействий, порожденных причинно-следственными связями между различными явлениями. С учетом особенностей электросетей каскадные эффекты в них применимы не только к событиям, воздействующим на сеть, но и к повреждениям, распространяющимся через неё. Последнее, в зависимости от подключений в сети, определяет, как уязвимость каждого отдельного элемента влияет на уязвимость сети в целом.

Характер взаимодействия может быть описан в виде широкого набора феноменологических взаимоотношений, в результате чего трудно установить обобщенную процедуру для квантификации каскадных эффектов. Для упрощения постановки этой задачи в рамках комплексного риска мы можем рассмотреть два основных набора взаимодействий: I) взаимодействия на уровне опасности; II) взаимодействия на уровне уязвимостей (например, Гарсия-Аристизабал (Garcia-Aristizabal) и др. 2015; Марзоччи (Marzocchi) и др. 2012). Стоит отметить, что сложность и повсеместные случайные воздействия, которые могут повлиять на эти процессы, делают вероятностные подходы наиболее подходящим способом для количественной оценки таких взаимодействий.

Взаимодействия на уровне опасности подходят для определения последовательности событий, повлиявших на один или более элементов сети. Самая первая задача - это определить и оценить возможные цепочки неблагоприятных событий, в которых появление одного опасного события влечёт за собой изменение вероятности появления вторичных и где любое событие последовательности может повлиять на систему электросети. Физические явления, которые группируются в рамках этого класса, представляют случаи, в которых начальное событие производит возмущение того, что при воздействии на заданную систему может привести ее в нестабильное состояние, заставляя её искать новое равновесие в соответствии с измененными условиями (например, новое морфологическое равновесие после произошедшего селевого потока). Достижение нового равновесия означает возникновение события, которое, в нашем случае, можно сказать, было вызвано исходным (Гаспарини (Gasparini) и Гарсия-Аристизабал (Garcia-Aristizabal) 2014; Лью (Liu) и др. 2015).

Что касается взаимодействия на уровне уязвимостей, то здесь задача состоит в оценке последствий одновременного действия двух или более событий (не обязательно связанных друг с другом) на реакцию заданной типологии подверженных элементов (например, структуры). Такого рода взаимоотношения относились к случаю, в котором возникновение одного события (первого произошедшего по времени) может изменить реакцию элементов на другие события. То есть в этом случае предполагается, что два или более события оказывают влияние на группу элементов сети и в результате добавочный или аккумулярующий эффект вызывает изменение реакции системы по сравнению с условиями, которые существовали до возникновения первого события. Случаи, которые могут быть сгруппированы в рамках этого типа взаимодействия могут быть различных природных и, как правило, физических процессов реакции системы на нагрузку, различных событий, учитывая их добавочный или аккумулярующий эффект. Обращаем внимание, что различные события могут быть одной природы (то есть одного типа опасности, как, например, два землетрясения, повлиявшие на одни и те же объекты за один короткий промежуток времени) или же исходить от различного рода явлений (например, встряска от землетрясения – это первое событие, и следующие за ним повышения нагрузки, вызванные оползнями или сильным ветром). Отметим также, что различные события, вызывающие дополнительную нагрузку на сети, могут быть как результатом общего иницирующего события, так и независимыми явлениями и эта связь очень важна для количественного анализа.

На рис. 8 показаны основные элементы для оценки комплексного риска каскадных эффектов в магистральных электросетях. Во-первых, должен быть составлен и описан исчерпывающий список каскадных сценариев (рис. 8а). Подходящие сценарии могут быть определены путём реализации адаптивной сценарно-структурной стратегии (например, Хеймс (Haines) 2009), которая является результатом сочетания прямого и обратного логического подхода. Прямой логический анализ заключается в определении возможных

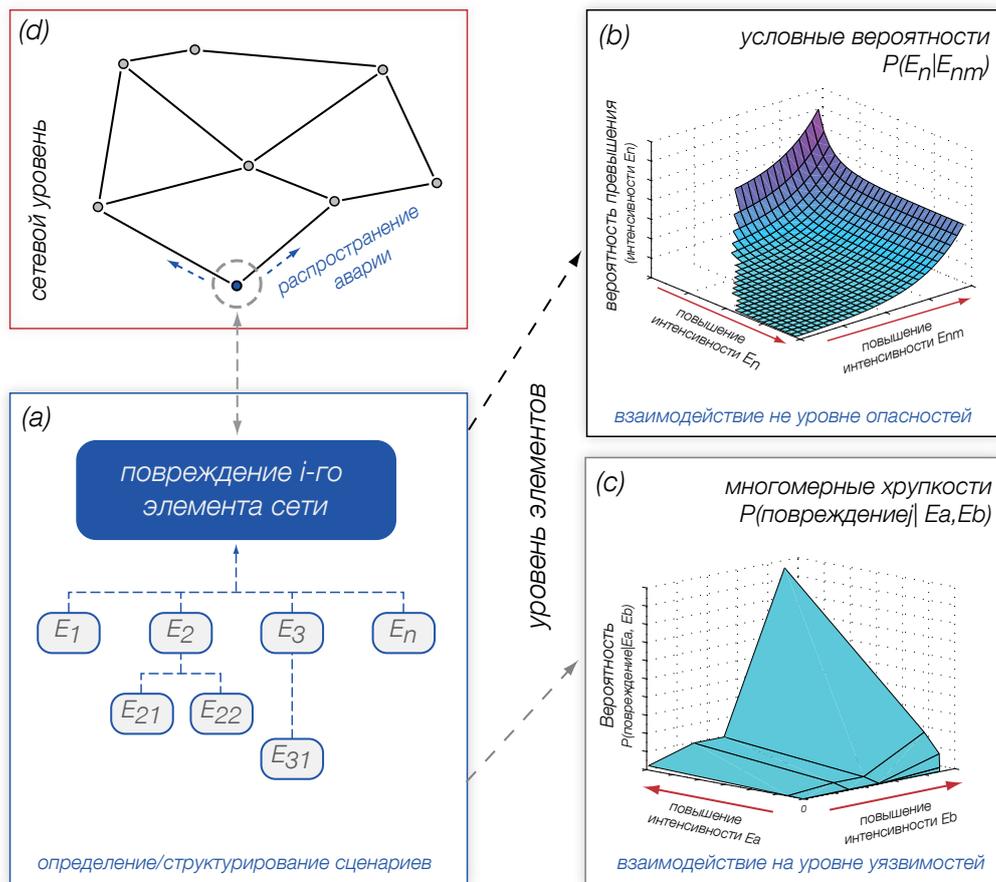


Рис. 8. Оценка каскадных эффектов в рамках комплексных рисков.

Источник: автор, панели (b) и (c) модифицированы из Гаспарини и Гарсия - Аристицабаль 2014

результатов для каждого инициирующего события (например, наводнения или землетрясения) с помощью построения дерева событий. Обратный логический анализ начинается с конца дерева (с результатов) и работает в обратную сторону для нахождения наиболее вероятных причин их получения. Сочетание обоих подходов происходит в виде последовательного использования прямого и обратного логических подходов и сочетания полученных результатов для исчерпывающего определения всех подходящих сценариев для конкретной первичной задачи. Первое приближение в определении сценария может быть осуществлено с использованием количественного подхода, в то время как переход к полуквантитативным и детальным количественным анализам требует анализа наиболее подходящих сценариев. Лю (Liu) и др. (2015) представляют метод для объективного управления переходом от количественных методов к количественному анализу в оценке комплексного риска.

После того, как соответствующие сценарии были проверены, можно начать использовать детальные количественные оценки взаимодействий. Чтобы это сделать нужно рассчитать условные вероятности, представляющие собой взаимодействия на уровне опасностей (рис. 8b) и уязвимостей (рис. 8c). Взаимодействия на уровне опасностей, как правило, оцениваются с учётом интенсивности инициирующего события и его способности вызвать вторичное событие за-

данного размера. Эта оценка может быть получена в результате статистического анализа баз данных или в результате использования физического моделирования.

С другой стороны, для оценки взаимодействий на уровне уязвимости необходимы сложные многомерные функции для моделирования стойкости к повреждениям (функции хрупкости) (рис. 8c). Функции хрупкости являются широко используемым инструментом для оценки уязвимостей физических элементов к заданному типу опасностей; они зависят от степени интенсивности, используемой для характеристики опасности. Многомерные функции хрупкости – это такие функции, которые зависят от набора показателей интенсивности для борьбы с различными опасностями с учётом их добавочных и аккумулирующих эффектов (см., например, Гаспарини (Gasparini) и Гарсия-Аристицабаль (Garcia-Aristizabal) 2014; Лю (Liu) и др. 2015).

После вычисления вероятности отказа каждого элемента (путём объединения информации об опасностях и уязвимостях) можно воспользоваться инструментами сетевого анализа для оценки характеристик подключения поврежденной сети (рис. 8d). Целью сетевого анализа является изучение того, как производительность сети изменяется при удалении из неё элементов. В этом случае есть возможность определить, как изменяется её уязвимость при изме-

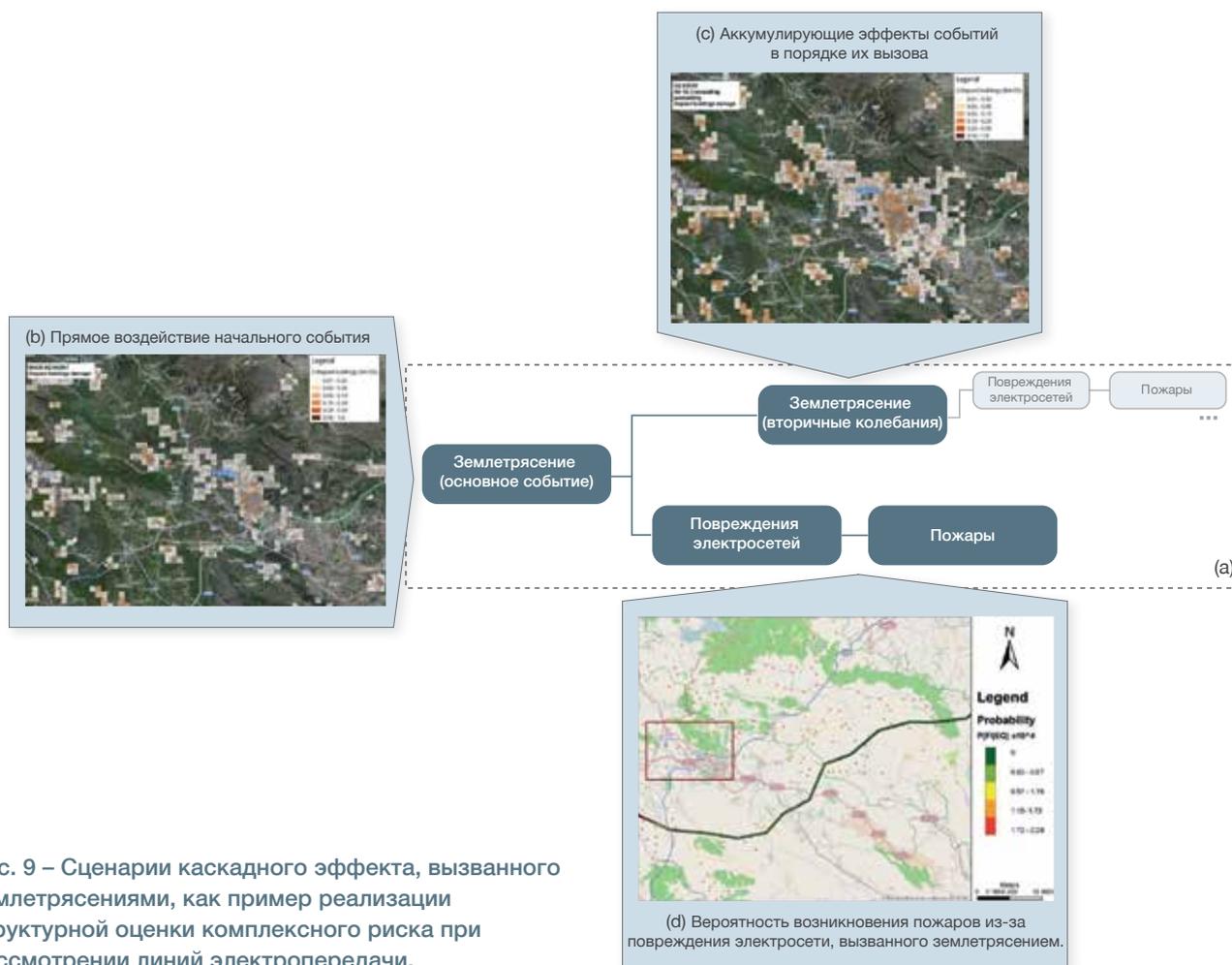


Рис. 9 – Сценарии каскадного эффекта, вызванного землетрясениями, как пример реализации структурной оценки комплексного риска при рассмотрении линий электропередачи.

нении структуры. Стоит отметить, что в данном сценарии каждый элемент сети может подвергаться различного рода опасностям и, более того, каждая опасность - различным её интенсивностям (это является следствием пространственного распределения сети и интенсивности опасности). Поврежденная конфигурация сети может быть сгенерирована, как только мы определим, какие элементы были утеряны; так как количество необходимых сценариев довольно высоко, этот процесс обычно вычислительно затратен. Поэтому моделирование на основе метода Монте-Карло является одним из наиболее часто применяемых подходов для решения подобного рода задач (например, Кавальери (Cavalieri) и др. 2014). Результат сетевого анализа, как правило, опирается на анализ заранее определенных показателей эффективности таких событий как, например, потеря соединения или воздействие на потребителя.

### Пример.

Пример оценки комплексного риска каскадных эффектов в электрических сетях был предоставлен Гарсия-Аристизабалем (Garcia-Aristizabal) и др. (2014, 2015b). В этих исследованиях рассматривались различные возможные сценарии каскадного эффекта, где инициирующим событием было землетрясение. Помимо оценки прямого воздействия землетрясения (главный удар и последующие сейсмические колебания) в моделированной среде, авторы также используют количественные оценки для каскадного сценария, в котором землетрясение может вызвать сбой в электросетях

среднего напряжения, что, в свою очередь, может привести к пожару (рис. 9). Пример был построен на основе моделирования последовательности землетрясений, происходящих в окрестностях провинции L'Aquila (Абруццо (Abruzzo), Италия). Для этого примера был определен набор сценариев каскадных событий, подмножество которого представлено на рис. 9а. На рис. 9б представлена карта, на которой показаны оценки ожидаемых повреждений зданий и объектов в результате главного удара, в то время как на рис. 9с показаны оценка последствий от вызванных им сейсмических колебаний. Что касается сценария, в котором учитывается электрическая сеть, то на рис. 9д представлена карта, на которой показана вероятность возгорания, возможные повреждения элементов ЛЭП (из-за землетрясения) и наличие топлива в прилегающих районах.

### Заключительные комментарии.

Основное внимание в этой главе было уделено описанию физических аспектов оценки комплексного риска. Однако последствия различных природных бедствий, влияющие на электросетевую систему, имеют различный характер, от прямых до косвенных последствий, как материальных, так и нематериальных. Целостный анализ комплексного риска требует учёта косвенных материальных последствий (см., например, Гарсия-Аристизабал (Garcia-Aristizabal) и др. 2015), но сетевой анализ в данных условиях достаточно сложен. Оптимизационные подходы (например, Хан (Han) и Дэвидсон (Davidson) 2012; Миллер и Бейкер 2015) могут

иметь подходящую стратегию для выполнения подобного анализа, причем вычислительно выполнимую. Такие подходы часто используют промежуточные показатели в качестве косвенных индикаторов работы сети, которые, как правило, являются более удобными измерениями (Миллер (Miller) и Бэкер (Baker) 2015).

## Приложение: словарь.

В контексте данной статьи были использованы следующие термины (адаптировано из выбранных ссылок):

**Сценарий каскадного эффекта** – это обзорное, правдоподобное и последовательное представление ряда действий и событий, в которых основное событие вызывает или взаимодействует с одним или более событиями.

**Функция хрупкости** – распределения вероятности, указывающие на вероятность того, что соединение, элемент или система перейдет в состояние поврежденной в зависимости от спрогнозированного параметра требования.

**Оценка комплексного риска** – определение общего риска, исходящего от нескольких опасностей, принимая во внимание возможные взаимодействия на уровнях опасности и уязвимости (см. также «Сценарий каскадного эффекта»).

**Уязвимость** – это понятие определяется, интерпретируется и применяется в различных направлениях, в зависимости от области исследования и контекста, в котором она применяется. В контексте же этой главы мы принимаем «физический» аспект уязвимости, понимая его как вероятность повреждения элемента при заданном уровне интенсивности неблагоприятных событий (см. также «Функция хрупкости»).

## Литература.

Cavalieri, F., P. Franchin, J.A.M. Buritica Cortés, & S. Tesfamariam (2014), Models for Seismic Vulnerability Analysis of Power Networks: Comparative Assessment. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 29: 590–607, doi: 10.1111/mice.12064

Correa-Henaó, G. J., J. M. Yustab, & R. Lacal-Arántegui (2013). Using interconnected risk maps to assess the threats faced by electricity infrastructures, Int. J. of Crit. Infrastructure Protection 6:197-216, doi: 10.1016/j.ijcip.2013.10.002

Garcia-Aristizabal, A., P. Gasparini, & G. UHINGA (2015a). Multi-risk assessment as a tool for decision-making. Future Cities, 4 (Climate change and urban vulnerability in Africa, Pauleit et al., Eds.):229-258, doi:10.1007/978-3-319-03982-4\_7

Garcia-Aristizabal, A., M. Polese, G. Zuccaro, M. Almeida, and C. Aubrecht (2015b). Improving emergency preparedness with simulation of cascading events scenarios. Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (Palen, Buscher, Comes and Hughes, eds.), Kristiansand, Norway.

Garcia-Aristizabal, A., M. Almeida, C. Aubrecht, M. Polese, L.M. Ribeiro, D. Viegas, and G. Zuccaro (2014). Assessment and management of cascading effects triggering forest fires. In “Advances in

Forest Fire Research” (D. Viegas, Ed.), pp 1073-1085. doi: 10.14195/978-989-26-0884-6\_117

Gasparini, P. & A. Garcia-Aristizabal (2014). Seismic Risk Assessment, Cascading Effects. In: Beer M., Patelli E., Kougioumtzoglou I., Au I. (Ed.) Encyclopedia of Earthquake Engineering, SpringerReference, p. 1-20. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-36197-5\_260-1

Han, Y. & R.A. Davidson (2012). Probabilistic seismic hazard analysis for spatially distributed infrastructure. Earthquake Engng Struct. Dyn, 41(15):2141-2158, doi:10.1002/eqe.2179

Haimes, Y. Y. (2009). Risk Modeling, Assessment and Management (3<sup>rd</sup> ed). John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

Holmgren, A. J. (2006), Using Graph Models to Analyze the Vulnerability of Electric Power Networks. Risk Analysis, 26: 955–969, doi: 10.1111/j.1539-6924.2006.00791.x

Liu, Z., F. Nadim, A. Garcia-Aristizabal, A. Mignan, K. Fleming, & B. Luna (2015). A three-level framework for multi-risk assessment. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards 9, doi: 10.1080/17499518.2015.1041989

Marzocchi, W. A. Garcia-Aristizabal, P. Gasparini, M. L. Mastellone, & A. Di Ruocco (2012). Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy, Nat. Hazards, 62(2): 551-573, doi: 10.1007/s11069-012-0092-x

Miller, M., & Baker, J. (2015), Ground-motion intensity and damage map selection for probabilistic infrastructure network risk assessment using optimization. Earthquake Engng Struct. Dyn., 44: 1139–1156, doi:10.1002/eqe.2506

Poljanšek, K., F. Bono, & E. Gutiérrez (2012), Seismic risk assessment of interdependent critical infrastructure systems: The case of European gas and electricity networks. Earthquake Engng. Struct. Dyn., 41: 61–79, doi: 10.1002/eqe.1118

Scolobig, A., A. Garcia-Aristizabal, N. Komendantova, A. Patt, A. Di Ruocco, P. Gasparini, D. Monfort, C. Vinchon, M. Bengoubou-Valerius, R. Mrzyglocki, & K. Fleming (2014). From multi-risk assessment to multi-risk governance: recommendations for future directions. Chapter 3-20 in: Understanding risk: The Evolution of Disaster Risk Assessment, Editor: Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). World Bank: 163-167

## 1.3. Виды множественных опасностей для устойчивости энергосистем.

**Фридман Венцель (Friedemann Wenzel) и Кристофер Зобель (Christopher Zobel),** Геофизический институт Карлсруэрского Технологического института (КТИ), Германия и «Вирджиния Тех» Пэмплингский колледж бизнеса, Кафедра информационных технологий бизнеса, Блэксбург, США

### Введение.

В последние годы происходило много перебоев электроснабжения и аварий, вызванных стихийными бедствиями, некоторые из них являлись результатом более чем одного вида природной опасности. Из-за присущей сложности таких ситуаций, потребовался анализ множественных опасностей и множественных рисков для надлежащего управления последствиями их воздействия. В случае ситуации, связанной с риском, перебои питания могут затрагивать площади на много большие, чем регионы, пораженные природной опасностью, в том числе имеется большая вероятность появления косвенных потерь для бизнеса. В том числе, такие события могут значительное время воздействовать после стихийных бедствий и восстановления. К этим сложностям стоит добавить, что сети электроснабжения изменяются не только с течением времени, но они также могут изменить свои характеристики как сети. Следовательно, подходы к управлению такого рода разрушительными событиями должны быть оперативными и гибкими, а также должны учитывать непосредственные последствия произошедшего и иметь более долгосрочные планы, в частности включающие в себя процесс восстановления. Для удовлетворения вышеописанных потребностей, используется концепция устойчивости в процессе управления множественными природными опасными ситуациями, и проведения оценки рисков и смягчения их последствий, которые будут рассмотрены в данной главе.

### Ситуации.

Существует множество данных и отчетов о происходивших стихийных бедствиях, которые вызывали перебои электроснабжения. Мы начнем с представления ряда примеров таких бедствий, для того, чтобы проиллюстрировать широкий спектр природных опасностей, которым могут быть подвержены энергетические системы – от гидрометеорологических и геологических / геофизических происшествий до космических катастроф.

Несмотря на множество различных событий, представленных в этом списке, обратите внимание, что несмотря на это, каждое из них представлено только одним типом природ-

ной опасности. Как правило, почти все без исключения такие ситуации включают в себя несколько взаимосвязанных опасностей, которые могут происходить либо одновременно, либо в формате каскадных происшествий.

Недавнее землетрясение в Непале, магнитудой 7,9 баллов по шкале Рихтера, произошедшее 24 апреля 2015 года является примером множественных, природных опасных ситуаций: землетрясение вызвало обширные оползни, которые не только разрушили жилые дома и привели к гибели людей, но в том числе блокировали дороги и прервали подачу электроэнергии. Такое сочетание событий привело к значительным экономическим потерям и создало серьезные осложнения для проведения операций по оказанию помощи. Ситуация ухудшилась еще и тем, что после того, как в июне начался муссон, подвергнутые землетрясению грунты могли перемещаться, что могло бы привести к сходу селей. Если бы некоторые из склонов находились недалеко от эпицентра землетрясений, массивы земли легко могли бы соскользнуть с них, из-за увеличивающегося числа осадков пришедших с муссонами. В этом случае, все усилия по реконструкции были бы бесполезными, потому как были бы искажены из-за соскользнувшей земли.

В последующем обсуждении мы задумаемся о текущем определении, используемом в контексте множественных природных опасностей и для упрощения признаем, что это кажется оправданным с точки зрения управления устойчивостью. Методологии, используемые в оценке опасностей и рисков, кратко представлены, в то же время разработан более системный взгляд с учетом систем электропитания не как статических, а как динамических структур. Наконец, мы вводим понятие устойчивости и явным образом рассмотрим возможные варианты улучшения такой устойчивости в этих сложных ситуациях.

### Множественные опасности. Определения.

Определения множественных опасностей и множественных факторов риска можно понимать по-разному. Для управления рисками обычно пытаются включить различные опасности в процесс оценки рисков, чтобы сопоставить их влияние. Это можно легко сделать, если определить воздействие в денежной стоимости, потому как это обеспечит общую основу для сравнения. В противном случае, если показатели риска являются более комплексными, например, при включении в себя нематериальных вещей, таких как культурное наследие и политическую стабильность, производят мониторинг системы или выставление экспертных оценок общим показателям и их ранжирование.

В отличие от случаев, где события в различных опасных ситуациях независимы и не имеют временных связей, есть случаи, в которых несколько опасностей и рисков могут совпадать по времени и даже быть причинно связанными между собой. Такие события в основном рассматриваются в современной научно-технической дискуссии (Шмидт (Schmidt) и др 2012; Каппес (Kappes) и др 2012; Марзоччи (Marzocchi) и др 2012.). Случайно (казуально) связанные природные опасности и риски представляют особый ин-

Таблица 3. Случаи стихийных бедствий, вызывающих потери энергии

<b>Низовые пожары:</b>	17 мая 1985 года 10 акров низовых пожаров в Эверглейдсе во Флориде повредили воздушные линии электропередачи, в результате чего произошло крупное отключение электроэнергии на несколько часов в большей части Южной Флориды. В общей сложности было затронуто около 4,5 миллионов человек, включая целые города такие как Майями и Форт Лодердейл (Форт Лодердейл Сан-Сантинель (Ft. Lauderdale Sun-Sentinel), 1985).
<b>Штормы и ураганы:</b>	<p>В ночь на 16 октября 1987 года, на Англию налетел самый сильный шторм за последние 300 лет, так называемый Великий Шторм 1987-го, который привел к отключению электроэнергии в Лондоне продолжительностью 6 часов, и вызвал ущерб примерно в 2 миллиарда долларов (Киндер (Kinder) 2013).</p> <p>3 декабря 1999 года по Европе ударил зимний шторм под названием Анатол, после чего, 26-28 декабря 1999 г., за ним последовали внетропические циклоны Лотар и Мартин. В сочетании, эти штормы нанесли серьезный ущерб тринадцати странам, в том числе около 10 миллионов человек по всей Франции и Германии остались без электричества на продолжительное время. Во Франции была разрушена четверть высоковольтных линий электропередачи, в том числе были повреждены 300 опор; в конечном счете этот шторм описывался как один из самых значительных энергетических сбоев, испытанных современной развитой страной (Татге (Tatge) 2009).</p> <p>29 августа 2005 года, ураган Катрина оставил без электропитания более чем 2,7 миллиона человек в Луизиане и Миссисипи (МЭ США 2005). Это стало дополнительным ударом к тому, что произошло на несколько дней раньше во Флориде, где ураган оставил 1,3 миллиона людей без электроэнергии (НОАА 2005).</p> <p>27-28 августа 2011 ураган Ирен вызвал отключение электроэнергии от Северной Каролины до штата Массачусетс, где проживало более 4,3 миллионов человек на восточном побережье Соединенных Штатов (Гонзалез (Gonzalez) 2011).</p> <p>29 и 30 октября 2012 года ураган Сэнди поразил восточную часть Соединенных Штатов, в результате чего появились сильные ветра и значительные затопления, что в конечном счете оставило без электроэнергии 16 штатов и округ Колумбии, где по предположительным оценкам были задеты 8,5 миллионов домов и предприятий (ВИТН (WITN) 2012).</p>
<b>Землетрясения:</b>	<p>17 октября 1989 года в северной Калифорнии произошло землетрясение Лома Приета, оставившее без электропитания около 1,4 млн человек PG&amp;E (Pacific Gas and Electric Company), а также повредившее ряд трансформаторных подстанций (Национальный исследовательский совет 1994 г.).</p> <p>22 февраля 2011 года было зарегистрировано 6,3-балльное землетрясение в городе Кристчерч, Новая Зеландия. Прямые затраты компании Orion New Zealand Limited, управляющей электрической распределительной сетью, были оценены более чем в \$40 млн. в том числе потребовалось приблизительно 10 дней на восстановление подачи электроэнергии для 90% клиентов компании. Подземная кабельная сеть была особенно подвержена воздействию землетрясения (Издательство Kestrel 2011 г.).</p> <p>В Японии, в результате землетрясения в Тохоку 11 марта 2011 года, Tohoku Electric Company сразу же потеряла около 55% от ее общей генерирующей мощности на ископаемом топливе и геотермальных установках. В результате чего, около 4,4 миллионов потребителей остались без электроэнергии (Казама (Kazama) и Нода (Noda) 2012).</p>
<b>Оползни:</b>	29 июля 1999 года, оползень на Тайвани стал причиной разрушения 326 опор передачи электроэнергии, отключив около 8,5 миллионов человек от электрической сети (Ли (Lee) и Хсий (Hsieh) 2001).
<b>Геомагнитные бури:</b>	19 ноября 1996 года сильная снежная буря затронула город Спокане, штат Вашингтон, в результате чего половина города была обесточена, а некоторые жители оставались без электричества в течении до двух недель. Общий ущерб был оценен в более чем в \$22 миллиона (ХОАА (NOAA) 2013).
<b>Бураны и снег:</b>	A severe ice storm impacted Spokane, Washington, on 19 November 1996, causing half of the city to lose power and leaving some residents without electricity for up to two weeks. The total damage were estimated at over \$22 million (NOAA 2013).
<b>Периоды сильной жары:</b>	10 августа 1996 из-за сильной летней жары произошли скачки напряжения, что в свою очередь вызвало каскадную аварию электропитания, приведшую к отключению Pacific Intertie – главную энергетическую артерию между Северо-Западом и Калифорнией. Это отключение затронуло более четырех миллионов человек в девяти штатах (Голден (Golden) 1996 г.).

интерес, поскольку они более требовательны к научным и эксплуатационным аспектам, а также имеют потенциал к развитию внутренних больших бедствий за счет каскадных эффектов. В горных районах землетрясения часто вызывают оползни. Если большие камни или участки земли соскользнут в запруженный водоем, он может разлиться и создать нисходящий поток по течению реки, которая будет переполнена. Извержения вулканов и землетрясения зачастую происходят одновременно или последовательно, также иногда могут создавать локальные цунами. Эти взаимосвязанные события могут быть проанализированы либо с помощью логических деревьев, либо Байесовскими сетями (Мигнан (Mignan) и др. 2014).

Тем не менее, мы придерживаемся мнения о том, что природные опасности, в упомянутых случаях, с точки зрения управления рисками, являются только одной опасностью. Сильное землетрясение с достаточно большой магнитудой, способной разверзнуть кору Земли, может включать в себя «вторичные» опасности – спровоцированные оползни, размывание почвы, цунами. А если эпицентр находится в океане, а землетрясение формирует серьезные толчки, то могут образовываться сейши, афтершоки и локальные землетрясения, происходящие в окрестностях. Это не самостоятельные события, они выражают одно основное явление.

Различные опасности могут совпадать с различной степенью случайности. На первый взгляд это кажется маловероятным. Однако, на самом деле это не так, если мы (а) посмотрим на комбинации редких событий, например, таких как сильное землетрясение и более частых событий и (б) поймем бедствия с точки зрения обеспечения устойчивости, то есть, будем иметь один взгляд на воздействие, фазу ответа и восстановительный период, который может варьироваться по шкале лет. Непосредственное воздействие землетрясения с точки зрения экономических потерь и со смертельным исходом не сильно зависят от погодных условий. Тем не менее, неблагоприятные условия, такие как очень низкие температуры или мощные муссоны, которые могут происходить через каждые несколько лет, сделают обеспечение безопасности и реакцию на событие более трудным и естественно вызовут косвенные потери.

Релевантность для сетей электроснабжения во многом зависит от их устойчивости к опасностям. Если время ремонта и восстановления – короткое, как реализовано в положениях, направленных против бедствий, вероятность воздействия многих опасных явлений автоматически уменьшается. Для оперативных целей важно различать перебои электроэнергии (частичные отключения), полные отключения (отключение всей энергосистемы), веерные отключения и т.д. Различные условия с точки зрения безопасности, потерь, и времени восстановления применяются, если только некоторые части сети не имеют другого питания, кроме одного источника. В дальнейшем мы будем игнорировать эти различия, так как в центре внимания будут вопросы, касающийся аспектов природных опасностей.

## Методологии оценки множественных природных опасностей и множественного риска.

Катастрофы могут иметь широкомасштабные последствия для генерации электроэнергии, ее распределения и потребителей. Таким образом, потенциальная картина потерь гораздо сложнее, чем та, которая может быть получена при оценке риска для конкретного события или набора событий. Когда принимаются во внимание взаимосвязанные потенциальные последствия нескольких событий такого рода, ситуация и анализ еще больше усложняется.

При анализе риска стихийных бедствий, рассматривается природная опасность в особенной концепции, уязвимость структур, рассмотрение этих уязвимых сущностей, и, наконец, ожидаемые потери в течение определенного периода времени. Параметры опасности выбираются после рассмотрения структур риска. Для землетрясений это движение грунта, пик максимального ускорения или скорости поверхности, длительность колебаний и т.д. Для наводнений это может быть высота, длительность, скорость потока и т.д. У штормов это обычно скорость порывов. Характеристики природных опасностей также могут быть представлены сценариями, и в том числе в качестве вероятностных величин, где вероятность превышения значений параметров природной опасности указана для заданного периода времени (например, 50 лет для зданий). Затем уязвимость измеряется, как отношение значения среднего ущерба (равного среднему ожидаемому проценту повреждения) объектов риска к определенному уровню параметра природной опасности. Финансовый компонент риска может быть измерен многими показателями, связанными с прямыми экономическими потерями (например, стоимость замены поврежденных частей системы генерации электроэнергии), а также косвенные экономические потери (логически вытекающие убытки объектов, предприятий, учреждений, которые не испытывая никакого прямого воздействия, но не функционируют из-за потери мощности). Такие экономические потери, которые сильно зависят от времени простоя, очевидно, являются важной частью анализа риска в контексте энергетических систем. Другой тип потерь основан на социальных последствиях, связанных с потерей мощности (нефункционирующие больницы, отсутствие тепла зимой или прохлады в летнюю жару), которые могут повлечь за собой появления пострадавших и/или травмированных людей. В локальном масштабе некоторые люди могут получить травму из-за упавшей линии электропередачи находящейся под напряжением. В более крупном масштабе, потеря мощности в периоды очень горячей или очень холодной погоды может негативно сказаться на большом количестве людей, в частности, более восприимчивых слоев населения, таких как пожилые или немощные люди.

Различные бедствия варьируются с точки зрения их параметров опасности и соответствующих частот их появления, противоположностью которых является восстановительный период; они также различаются с точки зрения реальной глубины возможного ущерба от стихийного бедствия, его продолжительности и развития. Землетрясения про-

исходят внезапно, без предупреждения, но быстро. При более высоких магнитудах, они затрагивают большие площади, но редко происходят в одном месте. Наводнения могут происходить гораздо чаще и иметь большую продолжительность, в случае если выпадает большое количество осадков. Они также влияют на большие площади. Тем не менее, они зависят от топографии и развиваются с течением времени, в зависимости от суммы осадков (также и от насыщения почвы от предыдущих погодных условий). Они распространяются вдоль рек в районе водосбора, так что раннее предупреждение и соответствующая реакция может спасти жизнь и имущество. Помимо опасности картина потерь также отличается.

Ключевым моментом здесь является то, что различные природные опасности трудно сравнивать. Если риск можно измерить прямым экономическим ущербом, то разница только в вероятности опасности. В этом случае, редкие землетрясения могут привести к значительно большим потерям по сравнению с более частыми наводнениями и их меньшими потерями. На самом деле это было обнаружено во время исследований (Груэнталь (Gruenthal) и др. 2006), в которых сравниваются прямые экономические потери, в городе Кельн в Германии, от наводнений, землетрясений и зимних штормов. Интерес вызывает значение ежегодных средних убытков, сопоставимых между наводнениями и землетрясениями.

Стандартный подход к «сравнению» и получению значений влияния различных бедствий на цели рисков, которые могут быть применены даже в тех случаях, когда подробные вероятностные модели природных опасностей и потерь недоступны, является «матрица рисков» (Гарви (Garvey) 2008). Различные типы бедствий оцениваются в виде сценариев, которые должны быть связаны с частотой их возникновения, потери же оцениваются с точки зрения интенсивности воздействия. Частота и интенсивность часто классифицируются как: высокая, средняя и низкая, что требует соответствующего экспертного заключения.

## Опасности и изменения систем энергоснабжения.

Ряд стран находится в процессе изменения схем своих систем электроснабжения от централизованной к децентрализованной. Это одно из последствий широкого внедрения различных форм возобновляемых источников энергии, что предполагает собой введение различных методов децентрализованной выработки энергии (ветровой, солнечной, геотермальной, био), снижение базовой мощности снабжения крупными энергокомпаниями, а также большего доверия к сетям распределения электроэнергии промышленных и частных потребителей.

Системы распределения являются наиболее уязвимыми частями всей электроэнергетической системы. Большинство отказов, которые затем распространяются по всей сети – происходят из-за повреждения именно этой системы. В некоторых случаях (например, в случаях геологических природных

бедствий) повреждаются еще и подстанции. Тем не менее, растущая сложность системы распределения представляет собой имманентное воздействие стихийных бедствий.

Цель концепции Smart Grid заключается в использовании технологии, которая позволит сделать такие децентрализованные сети более эффективными и более целесообразными. Реализуется технология, которая позволяет локализовано управлять электрическими сетями, для которых можно воспользоваться несколькими возможностями: I) развитие снизу-вверх по модульному принципу – дополнение существующей структуры без необходимости ее замены; II) различные модули могут продолжать функционировать, независимо от того подключены ли они к основной сети или нет; III) разрушенные и выведенные из строя участки сети могут быть изолированы от остальной части системы, чтобы снизить риск появления каскадных аварий; IV) излишняя энергия может подаваться обратно в систему, для достижения баланса потребления между временами пиковых нагрузок и их отсутствием; V) возобновляемые источники энергии могут быть легко подключены (Фарханги (Farhangi) 2010).

Проблемы, связанные со Smart Grid, включают в себя отсутствие робастных стандартов для новых технологий, и связанные с ними трудности взаимодействия старых и новых технологий. Расходы являются такой же проблемой, как и государственная поддержка; также для предприятий все большее беспокойство вызывают вопросы кибербезопасности, в частности из-за повышенного контроля через интернет и снижающегося человеческого надзора (Холмукке (Holmukhe) и Хедж (Hegde) 2015).

## Перспективы устойчивости.

Устойчивость к бедствиям имеет много определений, но, как правило, это является способностью обеспечить систему средствами отстройки от стихийного бедствия. Большая работа была проделана для того, чтобы охарактеризовать неотъемлемые особенности сообществ, которые поддерживают устойчивое поведение, но также важно посмотреть на поведение системы в ответ на конкретное событие (Куттэр (Cutter) и др 2013.) – сколько произошло потерь, когда и где, а также что и/или кто, и как быстро сможет восстановить систему. В том числе, что мы можем сделать – либо уменьшить потери от рисков природных бедствий или ускорить восстановление, или оба варианта, так чтобы количество времени, в которое происходили потери, были сведены к минимуму? Мы можем начать с физической системы, то есть, способности сопротивляться и восстанавливаться после действительного физического разрушения. Стоит иметь ввиду экономическую и социальную стороны последствий от этих воздействий. В данном случае это не только физическая система, которая нуждается в восстановлении, это взаимосвязанные сети, которые она поддерживает, и которые также затрагиваются этими воздействиями.

## Средства для повышения устойчивости.

Поскольку сложные отношения создают множественные опасности, осложняющие планирование, понятие гибко-

сти становится очень важным. Важно решать проблемы в области человеческих ресурсов, на практике – это смоделированные тренировки и т.п. Стресс-тестирование является полезной методологией для выявления некоторых опасностей, а также помощи в предвидении не только каскадных особенностей развивающегося стихийного бедствия, но и различных воздействий на разные слои общества. Однако нет стандартов методологии стресс-тестов, потому как для нее нет никакой систематической научной основы, они попросту до сих пор не разработаны.

Планируемые возможности Smart Grid могут потенциально улучшить устойчивость электросетей за счет уменьшения воздействия на систему и ускорения восстановления: I) уменьшение каскадных воздействий путем изоляции подвергшихся воздействию участков сети; и II) предоставление возможности для подсетей к функциям (возможно на более низком уровне) и регулированию потребления энергии, даже если они не подключены к основной сети. Они могут быть самовосстанавливающимися в том смысле, что компоненты могут автоматически вернуться в нормальное состояние, находясь online в сети, как только нагрузка вернется к стандартным значениям, а также могут адаптироваться к ситуации, возможно по мере необходимости, за счет перехода на более высокий процент возобновляемых источников энергии и будут компенсироваться другие потери. С развитием стандартов поддержка модульности также может помочь с быстрым включением в работу, привлечением аварийных источников питания.

Смягчение влияния одного стихийного бедствия может повлиять и на другие опасности. Смягчение может спасти. Укрепление подстанций от землетрясений может также защитить ее от оползня или взрыва. Предупредительное закрытие подстанции может защитить от удара током и обеспечить быстрое восстановление после наводнения. Как показывает анализ затрат и прибылей, дополнительные улучшения могут иметь большой эффект.

Пока что раннее предупреждение, в частности, для гидрометеорологических бедствий, рассматривается в качестве ключевой меры по смягчению последствий от человеческих потерь и травм. Однако мы сомневаемся, что это весь потенциал, который был изучен для смягчения электроэнергетических аварий и их негативных последствий.

## Рекомендации.

Если бы даже множественные опасные события, которые вызывают или усугубляют аварии энергетических систем, на сегодняшний день обширно не наблюдались, они создавали бы проблемы, поскольку добавляют значительную сложность в стратегии оценки рисков и смягчения их последствий. Отсутствие возможностей «предсказать» все мыслимые удары, каскадные повреждения, и их последствия для различных секторов общества требует высокой степени адаптивности в разработке и развитии устойчивости этих систем. Это особенно верно, если мы понимаем системы электроснабжения как динамические системы, которые довольно быстро во времени изменяют свои характеристики.

Никто не может предсказать все, поэтому в каждом случае нужно быть достаточно гибким, чтобы адаптироваться. Возможно, некоторые события могут быть предугаданы, что позволяет легче сосредоточиться и подготовиться. Сценарии и стресс-тестирование предназначены для понимания диапазона возможностей, который в будущем позволит людям и системам, заранее готовиться. Мы нуждаемся в лучшем понимании множественных опасных явлений и каскадных воздействиях. Дополнительные улучшения могут помочь защититься от множественных опасных явлений, однако существуют определенные компромиссы, потому что они никогда не смогут произойти. Разработка научного фона вокруг этих вопросов будет иметь очень важное значение для понимания причин и следствий, а также последствий от бедствий разных размеров и усиление эффективности оперативных методов устранения последствий от неблагоприятных воздействий.

## Литература.

“Blackout Hits S. Fla. 4.5 Million Left Without Power” Ft. Lauderdale Sun-Sentinel. May 17, 1985. Retrieved June 1, 2015.

Cutter, S.L., J. A. Ahearn, B. Amadei, P. Crawford, E. A. Eide, G. E. Galloway, M. F. Goodchild, H. C. Kunreuther, M. Li-Vollmer, M. Schoch- Spana, S. C. Scrimshaw, E. M. Stanley, G. Whitney and M.L. Zoback, 2013. “Disaster Resilience: A National Imperative,” *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 55(2): 25-29.

Holmukhe, R. M., & Hegde, D. S. (2015). Adoption of Smart-Grid Technologies by Electrical Utilities in India: An Exploratory Study of Issues and Challenges. In *Energy Security and Development* (pp. 231-246). Springer India.

Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. *Power and Energy Magazine, IEEE*, 8(1), 18-28.

Garvey, P.R. (2008). *Analytical Methods for Risk Management – A Systems Engineering Perspective*, Chapman & Hall/CRC, ISBN 978-1- 58488-637-2. 34

Golden, T. (1996). Blackout May Be Caution Sign on Road to Utility Deregulation. *The New York Times*. Retrieved from <http://www.nytimes.com/1996/08/19/us/blackout-may-be-caution-sign-on-road-to-utilityderegulation.html?pagewanted=1>

Gonzalez, A. (2011, Aug. 29) Utilities Scramble to Restore Power. *Wall Street Journal*. Retrieved from <http://www.wsj.com/articles/SB10001424053111903352704576536770913696248>

Grünthal, G., Thieken, A. H., Schwarz, J., Radtke, K. S., Smolka, A., Merz, B. (2006): Comparative risk assessments for the city of Cologne, Germany - storms, floods, earthquakes. - *Natural Hazards*, 38, 1-2, p. 21-44.

Kappes MS, Keiler M, von Elverfeldt K, Glade T (2012) Challenges of analysing multi-hazard risk: a review. *Nat Hazards* 64:1925–1958. doi:10.1007/s11069-012-0294-2

Kappenman, J. (2010). Geomagnetic storms and their impacts on the US power grid. *Metatech*.

Kazama, M., & Noda, T. (2012). Damage statistics (Summary of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake damage). *Soils and Foundations*, 52 (5), 780-792.

Kinder, L. (2013, October 27). The Great Storm of 1987: What happened 26 years ago. The Guardian. Retrieved from <http://www.telegraph.co.uk>

Lee, C. H., & Hsieh, S. C. (2001). A technical review of the power outage on July 29, 1999 in Taiwan. In Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE (Vol. 3, pp. 1353-1358).

Marzocchi W, Garcia-Aristizabal A, Gasparini P, Mastellone ML, Di Ruocco A (2012), Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy. Nat Hazards. doi:10.1007/s11069-012-0092-x

Mignan, A., Wiemer, St., and Giardini, D. (2014). The quantification of low-probability-high-consequences events: part I. A generic multi-risk approach, Nat. Hazards, DOI 10/1007/s11069-014-1178-4.

National Research Council (1994). Practical lessons from the Loma Prieta earthquake. National Academy Press: Washington D.C., p. 142.

NOAA (2013) This Month in Climate History: 1996 Eastern Washington Ice Storm. National Centers for Environmental Information – News, November 19, 2013. Retrieved from <http://www.ncdc.noaa.gov/news/month-climate-history-1996-eastern-washi>

NOAA (2005) Hurricane Katrina. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center. Retrieved from <http://www.ncdc.noaa.gov/extremeevents/specialreports/Hurricane-Katrina.pdf>

“Resilience Lessons: Orion’s 2010 and 2011 Earthquake Experience.” (2011). Kestrel Group Ltd. Retrieved from [http://www.oriongroup.co.nz/downloads/Kestrel\\_report\\_resilience\\_lessons.pdf](http://www.oriongroup.co.nz/downloads/Kestrel_report_resilience_lessons.pdf)

“Sandy’s Impacts State by State: Millions Without Power, More Than 50 Dead.” WITN. October 31, 2012. Retrieved from <http://www.witn.com/home/headlines/Sandys-Impacts-State-By-State-Millions-Without-Power-More-Than-50-Dead-176557611.html>

Schmidt, J., Matcham, I., Reese, S., King, A., Bell, R., Henderson, R., Smart, G., Cousins, J., Smith, W., Heron, D., Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modelling, Nat Hazards (2011) 58:1169–1192 DOI 10.1007/s11069-011-9721-z

Tatge, J. (2009) Looking Back, Looking Forward: Anatol, Lothar and Martin Ten Years Later. Air-Worldwide. Retrieved from <http://www.airworldwide.com/Publications/AIR-Currents/Looking-Back-Looking-Forward--Anatol,-Lothar-and-Martin-Ten-Years-Later/>

USDOE (2005) Hurricane Katrina Situation Report #42. U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability (OE). Retrieved from [https://www.oe.netl.doe.gov/docs/katrina/katrina\\_092305%20\\_1500.pdf](https://www.oe.netl.doe.gov/docs/katrina/katrina_092305%20_1500.pdf)

## 1.4. Оценка системной надёжности электро-энергетических систем и выявление вклада сетевого и генерирующего звеньев в показатели системной надёжности

Ковалёв Г.Ф., Крупенёв Д.С.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)

### Введение

Одним из показателей эффективного управления развитием и эксплуатацией электроэнергетических систем (ЭЭС) является надёжность. В современных ЭЭС имеется ряд проблем, которые актуализируют вопросы, связанные с обеспечением надёжности электроснабжения это и: эксплуатация физически и морально устаревшего энергетического оборудования, усложнение структуры ЭЭС, суровые климатические условия эксплуатации ЭЭС, все возрастающая зависимость общества от электроэнергии и др. В связи с этим, специалисты разных стран продолжают развивать методы и средства анализа и обеспечения надёжности на всех уровнях территориально-временного управления (Ковалёв и др., 2015).

В процессе функционирования ЭЭС испытывает разнообразные возмущения: внутренние, определяемые отказами элементов, ошибками эксплуатационного персонала и др., и внешние, определяемые изменением уровня спроса на продукцию, условиями обеспечения системы необходимыми ресурсами, воздействиями со стороны окружающей среды. Все возмущения в итоге могут приводить к нарушению электроснабжения потребителей. Частичная или полная компенсация последствий возмущений осуществляется путем повышения надёжности оборудования, создания резервов производственных мощностей, запасов пропускной способности ЛЭП, запасов ресурсов, совершенствования систем управления, улучшения организации эксплуатации и др. средствами.

Обеспечения системной надёжности ЭЭС является необходимым, но не единственным, условием для поддержания требуемого уровня надёжности электроснабжения потребителей (Воропай и др., 2013). Так как надёжность электроснабжения потребителей в значительной степени зависит от ряда специфических особенностей распределительной сети. Системная надёжность – это надёжность ЭЭС как сложного технического объекта. Фактически, системная надёжность есть надёжность основной структуры ЭЭС, которая включает в себя генерирующие установки ЭЭС и

основную, системообразующую сеть, заканчивающуюся узловыми потребителями локальной питающей сети. Можно выделить два аспекта рассмотрения системной надёжности: балансовый и режимный. Первичным аспектом системной надёжности при планировании развития ЭЭС является балансовый, а именно – способность ЭЭС обеспечивать совокупную потребность в электрической энергии и мощности потребителей с учётом ограничений в виде плановых и неплановых отключений элементов ЭЭС, ограничений на поставку первичных энергоресурсов. Представляется, что без обеспечения балансовой надёжности, обеспечение режимной надёжности становится бессмысленным. Балансовая надёжность включает два единичных свойства: безотказность и восстанавливаемость.

Для поддержания приемлемого для потребителя уровня надёжности электроснабжения необходимо своевременно оценивать надёжность и на основании полученных показателей системной надёжности делать рекомендации по усилению надёжности технологических звеньев ЭЭС.

Одной из задач при оценке системной надёжности является оценка вклада в показатели надёжности генерирующего и сетевого звеньев. Так может оказаться, что сетевое звено, имея высокие показатели элементной надёжности, при работе в системе оказывает существенный негативный вклад в конечные показатели надёжности электроснабжения потребителей. То же самое, можно говорить и о генерирующем звене. Таким образом, оценка вклада в системную надёжность надёжности генерирующего и сетевого звеньев представляет собой одну из важных задач, решение которой позволит оптимальным образом добиться необходимой надёжности электроснабжения потребителей.

## 1. Оценка системной надёжности ЭЭС.

В данном разделе предлагается краткое описание модели оценки балансовой надёжности, которая была разработана д.т.н. Г.Ф. Ковалёвым. Задача оценки системной (балансовой) надёжности заключается в определении выбранных показателей надёжности для заданного варианта функционирования основной структуры ЭЭС. Соответствующая расчетная схема рассматривается как совокупность узлов нагрузки и генерации и связей между ними. В качестве элементов системы принимается основное оборудование ЭЭС (генерирующие агрегаты и линии электропередачи (ЛЭП)). Каждый узел в такой схеме является концентрированным. Связи между узлами расчетной схемы представляют собой совокупности всех ЛЭП между соответствующими регионами, замещаемыми данными узлами. Модель оценки балансовой надёжности ЭЭС, оценивает любые (радиальные, кольцевые) многоузловые расчетные схемы с ограниченными пропускными способностями связей между узлами. Задача может решаться для единых, объединенных и региональных ЭЭС.

В модели учитываются наиболее существенные факторы функционирования ЭЭС, влияющие на ее надёжность, и, прежде всего отказы, аварийные и плановые ремонты оборудования системы. Сезонная неравномерность случайных

процессов в ЭЭС (например, потоков отказов оборудования) и изменение состава и параметров оборудования в течение года; режимы электропотребления в форме характерных суточных графиков нагрузки с учетом сдвигов поясного времени для различных районов ЭЭС, а также случайные отклонения нагрузок и обеспеченности энергоресурсами. При расчетах отказов оптимизируются режимы расчетных состояний системы с учетом принимаемой стратегии ограничения потребителей отдельных энергоузлов и возможной взаимопомощи энергорайонов.

Надёжность сложных ЭЭС с учетом физико-технических свойств оценивается согласно следующим исходным соображениям. Рассматриваемая балансовая надёжность ЭЭС как степень обеспеченности электроснабжения потребителей характеризуется частотой, длительностью и глубиной возможных дефицитов мощности в ЭЭС. Определяя надёжность электроснабжения относительно шин узловых подстанций, питающих нагрузку, режимы работы потребителей принимаются как внешний фактор, заданный соответствующими графиками эквивалентной нагрузки. Состояния самой ЭЭС в этом случае достаточно полно можно определить по графикам электропотребления, энергетическим параметрам и показателям надёжности работы ее основного оборудования. В последнем случае должны учитываться любые простои основного оборудования (полные и частичные), включая простои, вызванные ненадежной работой вспомогательного оборудования ЭЭС (собственных нужд станций и подстанций, коммутационной аппаратуры, устройств защиты, автоматики и управления), а также простои из-за нехватки воды на ГЭС, топлива на ТЭС.

При оценке балансовой надёжности ЭЭС в модели принимаются во внимание следующие особенности, допущения и возможности:

1. Под отказом системы понимается событие перехода ЭЭС в любой режим, характеризующийся дефицитом мощности. Принимается, что автоматика и персонал обусловили введение дефицитного режима в допустимую область, рационально использовав все имеющиеся возможности по снижению величины дефицита и ограничив потребителей на минимально возможную величину.

Здесь не рассматриваются срывы работы потребителей в аварийных переходных процессах, которые могут быть хотя и более глубокими, чем в стационарном послеаварийном режиме, но длительность аварийного процесса составляет относительно малую часть длительности послеаварийного режима. Поэтому некоторая заниженная величина недоотпуска электроэнергии потребителям может считаться пренебрежимо малой по сравнению с недоотпуском за все время функционирования системы, характеризуемого наличием дефицита мощности.

При данном допущении учитываются достаточные для практических расчетов условия работы системы в нерабочем состоянии некоторых ее элементов. При этом существенно облегчается анализ, так как не требуется проводить

оценку множества внезапных аварий и подготавливаемых отключений, соответствующие им переходные процессы и условия, обеспечивающие их оптимальный ход, длительность и величину кратковременных аварийных сбросов мощности, зависящие от многих факторов.

2. Плановые ремонты генерирующего оборудования моделируются согласно нормативам при условии их обязательного выполнения. Вместо нормативов возможно задание графика проведения текущих и капитальных ремонтов оборудования. Плановые ремонты ЛЭП предлагается либо не учитывать, либо учитывать в соответствующих расчетных интервалах совместно с аварийными (путем увеличения относительной длительности простоя в ремонтах).

3. Отказы оборудования в модели не делятся на внезапные и прогнозируемые. Считается, что используются все виды резервов (включенный и невключенный) и отказ системы определяется общим или локальным превышением нагрузки всей генерируемой мощности. Предполагается, что имеющийся в системе резерв мощности распределен на включенный и невключенный согласно соотношению между внезапными и прогнозируемыми отказами. Внезапные отказы в таком случае покрываются включенным резервом первой очереди, а прогнозируемые отказы с различной степенью заблаговременности – включенным резервом следующих очередей и невключенным резервом до их полного исчерпания.

4. Дефицит мощности (соответственно недоотпуск электроэнергии) определяется глобальной или локальной нехваткой генераторной мощности. Такие формы существования дефицита, как снижение частоты в системе, напряжений на шинах потребителей, не рассматриваются.

5. Особенности режимов ГЭС, ГАЭС и ТЭС учитываются на уровне специального задания исходных данных по этим объектам (соответствующими функциями распределения их состояний и объемами используемых первичных энергоресурсов).

6. Предельные пропускные способности отдельных ЛЭП должны приниматься постоянными, не зависящими от режима системы, но разными (при необходимости) для каждого из расчетных интервалов. Суммарные пропускные способности связей между узлами должны определяться аддитивно как функции состояний (работо- и неработоспособных) самих ЛЭП. Однако возможно и более точное задание зависимости пропускных способностей связей от состояния образующих их ЛЭП непосредственно соответствующими функциями распределения.

7. Для оптимизации режимов расчетных состояний используются оптимизационные методы, обеспечивающие получение искомых результатов с учетом первого закона Кирхгофа, потерь мощности в сетях, технико-экономических характеристик выработки и транспорта энергии при заданных двухсторонних ограничениях на перетоки по ЛЭП:

Следует также заметить, что практически все режимы необходимо рассчитывать в случае анализа надежности в рамках исследований живучести ЭЭС и энергетической безопасности, так как при этом рассматриваются глубокие возмущения (глобальные недопоставки топлива, маловодные годы, выход из работы в больших размерах станционных мощностей, крупных межсистемных связей и т.д.).

*Требуемые исходные данные:* расчетная схема ЭЭС (эквивалентные энергоузлы и связи между ними); вероятности аварийного простоя генерирующих агрегатов и линий электропередачи; продолжительность капитальных и средних ремонтов указанных выше элементов ЭЭС за год (норматив); величины текущих ремонтов элементов ЭЭС в течение года (норматив); состав и параметры генерирующих агрегатов для каждого из узлов и каждого расчетного интервала в году (расчетный период равен 1 году); пропускные способности связей между узлами в обоих направлениях; характерные суточные графики нагрузок в каждом из узлов, продолжительности соответствующих нагрузочных периодов; среднеквадратические отклонения нагрузок от прогнозируемых графиков; энергетические эквиваленты располагаемых видов топлива и воды в водохранилищах ГЭС

При формировании расчетной схемы ЭЭС для определения надежности следует учитывать возможность произвольного разбиения системы на подсистемы (узлы). Рекомендуется составлять схему таким образом, чтобы при выборе узлов выделить «слабые» связи и учесть территориально-организационную иерархию ЭЭС.

*Искомая информация.* В результате расчетов определяются следующие показатели надежности по энергоузлам и системе в целом за каждый расчетный интервал (месяцы, кварталы) и за год: вероятность безотказной работы системы (узла)  $P$ ; среднее значение недоотпуска электроэнергии потребителям; коэффициенты обеспеченности потребителей электроэнергией. Значения расчетных резервов различных видов по узлам и системе в целом: резерв на проведение капитальных (средних) ремонтов; резерв на проведение текущих ремонтов; оперативный резерв; коммерческий резерв; полная величина резервов всех видов. В модели предусмотрено вычисление функций распределения дефицитов мощности и вычисление энергонадежных характеристик связей.

Энергонадежной характеристикой (ЭНХ) связи здесь называется функция распределения потоков мощности по данной связи в условиях работы ЭЭС и при заданных надежных характеристиках оборудования. Указанная функция определяет характер взаимосвязи двух смежных энергоузлов и возможную взаимопомощь с учетом остальной сети. Рассматриваемая ЭНХ является количественной характеристикой надежности и определяет фактическую эффективность использования соответствующей связи в заданных условиях. В результате ЭНХ можно применять при взаимосогласовании расчетов надежности на различных территориальных уровнях ЭЭС.

Вычисляются также двойственные (объективно обусловленные) оценки дефицитности основных ресурсов (генераторной мощности по узлам и пропускным способностям связей) для обеспечения надежности электроснабжения потребителей, характеризующие «вклад» генерирующих мощностей каждого узла и пропускных способностей каждой связи в надежность ЭЭС и позволяющие оптимизировать надежность в планируемых режимах работы системы.

Схема вычисления показателей надежности ЭЭС представляет последовательность следующих блоков:

- I. Блок подготовки исходной информации:
  1. Ввод, анализ и обработка исходных данных.
  2. Вычисление комплексных характеристик факторов, определяющих надежность узлов и системы в целом.
- II. Вероятностный блок
  3. Построение графиков нагрузок и графиков плановых ремонтов генерирующего оборудования для каждого узла.
  4. Вычисление функций распределения состояний генерирующего оборудования в каждом узле.
  5. Определение возможных состояний электрических связей с учетом простоев ЛЭП в ремонтах.
  6. Композиция расчетных состояний генерирующего оборудования, ЛЭП и нагрузок (с учетом случайных ее колебаний) в системе.
- III. Блок оптимизации режимов расчетных состояний:
  7. Выбор модели оптимизации режимов расчетных состояний.
  8. Оптимизация режима расчетного состояния, в том числе минимизация дефицитов мощности (определение дефицитов мощности по узлам, экономических показателей и перетоков по связям, проверка на обеспеченность энергоресурсами).
- IV. Блок вычисления показателей надежности:
  9. Вычисление энергонадёжных характеристик (ЭНХ) связей по временным интервалам и за расчетный период.
  10. Вычисление показателей надежности узлов по временным интервалам и за расчетный период.
  11. Вычисление показателей надежности системы по временным интервалам и за расчетный период.
  12. Обработка результатов расчета.

Некоторые подзадачи входят в общую задачу в виде многократно используемых алгоритмов. Так этапы 3 – 11, просчитываются для всех интервалов.

Различный характер подзадач, которые решаются при вычислении показателей надежности, обуславливает использование совокупности различных методов, к которым относятся:

- метод вычисления рядов распределений случайных состояний элементов расчетной схемы системы на основе

производящей функции общей теоремы о повторении опытов и теорем о сложении и умножении вероятностей различных событий;

- метод статистических испытаний для композиции расчетных состояний системы;
- комбинаторные методы разделения состояний системы по заданному признаку;
- методы линейного и нелинейного программирования для задачи оптимизации режимов расчетных состояний в ЭЭС.

Среди вычисляемых показателей надежности можно выделить следующие:

- вероятность безотказной (бездефицитной) работы;
- коэффициент обеспеченности потребителей электроэнергией;
- математическое ожидание дефицита мощности;
- математическое ожидание недоотпуска электроэнергии.

## Декомпозиция системной надёжности ЭЭС.

При оценке системной надёжности ЭЭС учитывается надёжность элементов эквивалентированной схемы ЭЭС. Основными элементами при этом выступают генерирующие агрегаты и линии электропередачи между узлами ЭЭС. При этом по отношению к надёжности электроснабжения и генерирующие агрегаты и сети выступают в качестве технологических звеньев, которые влияют на конечные показатели надёжности электроснабжения в той или иной степени. Следует отметить, что звено генерации электроэнергии в данном случае является первичным и при декомпозиции системной надёжности необходимо в первую очередь выявить вклад в показатели системной надёжности данного звена и уже на следующем этапе определить вклад сетевого звена.

При декомпозиции системной надёжности важным моментом является учет свойств электроэнергетической системы, которые имеют важное значение для данной процедуры:

- все элементы ЭЭС взаимосвязаны и находятся в непрерывном взаимодействии друг с другом;
- для потребителей электроэнергии в плане надёжности соединение генерирующего и сетевого звеньев является последовательным;
- при «абсолютно» надёжном сетевом звене, ЭЭС становится концентрированным узлом, и любой генераторный агрегат влияет на надёжность любого потребителя одинаково.

Таким образом, алгоритм выявления вклада генерирующего и сетевого звеньев в системную надёжность, т.е. определение показателей надёжности для каждого из звеньев основной структуры ЭЭС содержит следующие этапы (Крупенёв, 2010):

1. Опыт 1: оценка надёжности основной структуры исследуемой ЭЭС для фактического состава и параметров элемен-

тов системы. Данный расчёт показывает уровень системной надёжности исследуемой ЭЭС. Полученные показатели надёжности отражают ситуацию по системе в целом, без расстановки акцентов на вклад в надёжность звеньев основной структуры ЭЭС.

2. Опыт 2: оценка надёжности исследуемой ЭЭС в предположении абсолютной надёжности сетевого звена с целью оценки вклада в системную надёжность ЭЭС надёжности генерирующего звена. В данном опыте, по сути, система работает в режиме концентрированного узла.

3. Расчет надёжности сетевого звена в предположении о последовательности соединения звеньев основной структуры ЭЭС. На этом этапе предлагаемого алгоритма вычисляются показатели надёжности сетевого звена, или, другими словами, доля вклада сетевого звена исследуемой системы в показатели системной надёжности, определённые в опыте 1.

4. Анализ полученных вкладов и выявление узких мест в звене генерации и сетевом звене ЭЭС.

Далее на основании полученных вкладов технологических звеньев в системную надёжность и в случае «слабости» сетевого звена необходимо рассмотреть возможные мероприятия по усилению данного звена.

## Заключение.

Своевременная оценка системной надёжности ЭЭС позволит скорректировать деятельность по обеспечению необходимого уровня надёжности электроснабжения потребителей. Для оценки системной надёжности необходимо применять вычислительные модели, которые учитывают максимальное количество различных факторов, влияющих на показатели надёжности.

При исследовании системной надёжности ЭЭС целесообразно проводить её декомпозицию, т.е. оценку вклада в системную надёжность звеньев основной структуры ЭЭС (генерирующего и сетевого). Декомпозиция системной надёжности позволяет определить уровень надёжности каждого звена системы и при необходимости степень влияния субъектов рынка электроэнергии и мощности на надёжность электроснабжения потребителей.

При декомпозиции системной надёжности ЭЭС однозначно определяется надёжность сетевого звена, которая является важным аспектом при функционировании и планировании развития сети. Выделение сетевой надёжности позволит провести синтез надёжности сети с учётом выбранного норматива системной надёжности и надёжности генерирующего звена. При повышении надёжности сетевого звена важна оценка экономической эффективности, т.к. сооружение и реконструкция ЛЭП – капиталоемкий проект с большой долей риска. Трудность в оценке эффективности вызвана тем, что ЛЭП зачастую дают не какой-то конкретный эффект выдачи мощности, а системные, которые трудно определить, не выполняя расчётов системной надёжности

ЭЭС. Системные эффекты могут проявляться в следующих направлениях:

- повышение системной надёжности ЭЭС и вследствие этого надёжности электроснабжения потребителей, это происходит за счет повышения уровня взаиморезервирования между объединяемыми системами;
- увеличение целесообразности магистрального транспорта электроэнергии и мощности в дефицитные энергозоны из избыточных;
- создание условий для эффективных режимных перетоков, обеспечивающих выравнивание совмещённых графиков потребления электроэнергии со снижением себестоимости её производства за счёт возможностей более равномерной загрузки экономичного оборудования в энергосистемах;
- уменьшение суммарных потерь электроэнергии и мощности в энергосистеме за счет создания более эффективных схем и режимов электроснабжения потребителей;
- экономии топлива вследствие рационализации режимов работы электростанций и электрических сетей;
- удешевление строительства, сокращение численности строителей и эксплуатационного персонала, площадей, занимаемых энергообъектами, вследствие укрупнения единичных мощностей агрегатов электростанций;
- обеспечение энергетической безопасности страны в отдельных её регионах и т.д.

## Литература.

- Ковалев Г.Ф., Лебедева Л.М. Надёжность систем электроэнергетики. / Новосибирск. – Наука, 2015.
- Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике. / Отв. редакторы: Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалёв – М.: ООО ИД «Энергия», 2013. 304с.
- Крупенёв Д.С., Ковалёв Г.Ф., Лебедева Л.М. Актуальные проблемы надёжности электроэнергетики. / Автоматика и телемеханика, 2010, № 7, с. 173–179.
- Крупенёв Д.С. Оценка и синтез сетевой надёжности электроэнергетической системы. / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2010. – №9–10, с. 28–40.

## 1.5. Безопасность электроснабжения, оценка услуг и общественное восприятие энергетической инфраструктуры.

Ёханэ Рэйчел (Johannes Reichl),  
Джэд Кохен (Jed Cohen),  
Клаус Мольтнер (Klaus Moeltner)  
и Майкл Шидхалер (Michael Schidthaler),

Институт энергетики при Университете имени Иоганна Кеплера (Energy Institute at the Johannes Kepler University), Австрия и Политехнический университет Виргинии (Virginia Tech), США

### Аннотация.

В данном разделе представлены исследования социально-экономической значимости надежности поставок электроэнергии, а также некоторые проблемы при поддержании текущего уровня надежности электроснабжения в Европе. Таким образом, во-первых, представлены исторические факты, подтверждающие крупномасштабные аварии в энергосистемах и далее обсуждаются их социально-экономические последствия. Во-вторых, представлен разработанный инструмент анализа, симулятор системных аварий, который оценивает социальные последствия и экономический ущерб от перебоев в подаче электроэнергии в Европейском Союзе (ЕС). Данная модель анализа находится в открытом доступе и позволяет оценить последствия указанных пользователем аварий в мелком масштабе, как географически (266 регионов на государственном уровне для 27 стран-членов ЕС), а также для всех секторов экономики и населения (в общей сложности 10 групп потребителей). Также здесь приводится оценка ущерба от отключения электроэнергии в сентябре 2003 года в Италии. В-третьих, этот раздел впервые предлагает доказательства того, как трансевропейские инфраструктурные проекты, такие как электросетевые объединения, воспринимаются общественностью, и какие факторы влияют на это общественное восприятие. Эмпирический анализ показал, что в то время как определенное негативное отношение к новым электрическим сетям существует в разной степени во всех странах-членах ЕС, вспомогательная информация о положительных эффектах проекта развития сети может оказать существенное влияние на уменьшения оппозиционных взглядов и локальной заинтересованности сторон. Информация о положительных сторонах проекта имеет первостепенное значение для возможной поддержки необходимой инфраструктуры и обеспечения надежного энергоснабжения в будущем.

### Введение.

Для многих стран Европы надежные поставки электроэнергии являются более чем фактором производственных процессов. Надёжная поставка электроэнергии находит отражение в существенных социальных уязвимостях, в случае отключения электроэнергии повышается уровень личного дискомфорта. В связи с этим в последние годы наблюдается повышенное общественное внимание к надёжности электроснабжения, что приводит к множеству исследований, посвященных этой теме.

Этот раздел обобщает последние данные о важности безопасного снабжения электроэнергией, как с экономической стороны, так и с социальной; также в разделе приводится обзор социальных проблем, связанных с сохранением текущего уровня надежности. Вначале дается уточнение размеров и последствий фактических перебоев в подаче электроэнергии, а затем оценивается общественное восприятие энергетической инфраструктуры, такой как электрические сети.

### 1. Социально-экономическая оценка энергетических отказов.

Одна из причин возрастающего общественного и научного внимания к вопросам надёжности электроснабжения коренится в последствиях энергетических аварий для общества. Например, в течение нескольких недель в 2003 году после серии отключений без электроэнергии остались свыше 110 миллионов человек в Италии, Швеции, Дании, Великобритании, Канаде и США (Бялек (Bialek) 2004). Мало того, что социально-экономическая жизнь практически остановилась на срок до 24 часов, так еще из-за масштабных отключений сотням тысяч человек пришлось провести ночь вдали от своих домов из-за нарушений движения частного и общественного транспорта. В качестве примера, в Детройте после масштабных отключений электроэнергии люди не могли пользоваться муниципальной водопроводной системой в течение 72 часов. Угроза эпидемии достигла критического уровня после того, как водопроводные трубы не промывались на протяжении аварии, что может привести к другим критическим ситуациям, например, в медицинской системе (Клейн (Klein) и др. 2005). Таким образом, необходимо знать о масштабах и тяжести последствий при перебоях в подаче электроэнергии, особенно при долгосрочном планировании развития электроэнергетической инфраструктуры. В табл. 4 представлен обзор различных исторических аварий и представлены их технические или антропогенные причины. Только тогда, когда перебои в подаче электроэнергии рассматриваются в процессе разработки контрмер, можно защитить социально-экономический сектор от неблагоприятных воздействий и гарантировать надёжное функционирование важнейших инфраструктур.

Последствия каскадных аварий особенно разрушительны, о чем свидетельствует итальянская авария, произошедшая 28 сентября 2003 года. Авария была вызвана серией небольших инцидентов в различных частях электроэнергетической системы Италии в основном на границах с соседними странами, из-за дальнейшего отключения электроэнергии

Таблица 4. Исторический обзор перерывов энергии, их размеры и причины происхождения.

Дата	Страна	Количество отключенных потребителей	Причина происхождения
Март 2015	Турция	70000000	Техническая проблема на уровне передачи
Январь 2015	Пакистан	140000000	Военные действия
Июль 2012	Индия	620000000	Сверхнагрузки
Февраль 2008	США (Флорида)	6000000	Авария на трансформаторной подстанции
Июль 2007	Германия (Дюссельдорф)	150000	
Июль 2007	Испания (Барселона)	350000	Дефект в распределительном устройстве
Июль 2007	Грузинская Республика (Тифлис)	1100000	
Ноябрь 2006	Германия/С.-З. Европа	10000000	Ошибка переключения
Ноябрь 2005	Германия (Мюнстерланд)	250000	Повреждение опоры
Июнь 2005	Швейцария	200000	Ошибка в железнодорожной сети
Май 2005	Россия (Москва)	2000000	
Ноябрь 2004	Испания	2000000	Пожар на трансформаторной подстанции
Сентябрь 2004	Германия (Рейнланд-Пфальц)	1000000	Короткое замыкание
Декабрь 2003	Германия (Гютерсло)	300000	Диверсия
Сентябрь 2003	Швеция/Дания	4000000	Ошибка переключения
Сентябрь 2003	Италия	6000000	Дефицит мощности
Январь 2001	Индия (Нью Дэли)	200000000	
Декабрь 1999	Франция	3400000	Ураган «Лотар»
Декабрь 1995	США (Орегон)	2000000	Шторм
Июль 1977	США (Нью Йорк)		Гроза
Ноябрь 1965	США/Канада	25000000	

Источник: RWTH Aachen, Verivox, Spiegel, первичные исследования

пострадали 56 миллионов итальянских граждан. Это яркий пример уязвимости современных электроэнергетических систем и неготовности систем к авариям. По этой и другим причинам это отключение электроэнергии интенсивно исследуется. Исследование подобных аварий помогает пролить свет на социальное значение надёжности электроснабжения. Бомпард (Bompart) и др. (2011), например, сравнивают итальянскую аварию с 34 другими авариями (см. табл. 6). Оцененный ущерб, недоотпуск электроэнергии, а также количество потребителей с перерывом электроснабжения подробно обсуждаются.

Этот краткий обзор различных характеристиках аварий подчеркивает взаимосвязь между масштабами системных аварий и числом пострадавших потребителей. Кроме того, дается оценка в отношении макроэкономического ущерба от этих аварий. Тем не менее, для целостного анализа надёжности электроснабжения должны быть учтены различные дополнительные категории ущерба. Таким образом, такие действия на людей, как стресс, недоверие, а также другие действия должны быть приняты во внимание. Помимо действий на людей, принятие во внимание ущерба в бизнес-секторе имеет первостепенное значение. Даже выбор расположения бизнеса зависит от преобладающего уровня надёжных поставок электроэнергии. И, наконец, знание уровня надёжности электроснабжения особенно актуаль-

но, поскольку инвестиционные затраты в инфраструктуру должны быть соотнесены с уровнем финансовой выгоды от строительства этой инфраструктуры.

Для обеспечения осведомлённости о количественном анализе важности надёжности электроснабжения, в рамках европейского проекта FP7 SESAME<sup>2</sup> проведено подробное исследование социально-экономического аспекта крупных отключений электроэнергии. Это позволило разработать инструмент для анализа, который находится в открытом доступе: [blackout-simulator.com](http://blackout-simulator.com), и который позволяет проводить эффективную оценку развития отказов при подаче электроэнергии во все европейские провинции. В следующем разделе кратко показано, как можно осуществлять объективные измерения ущерба от перерывов электроснабжения и на первый план выдвигается возможность использовать данную модель для определения случайного ущерба при перебомах электроснабжения.

<sup>2</sup> SESAME является проектом FP7- безопасность, который имеет софинансирование по гранту Европейской комиссией под номером 261696, и имеет цель обеспечение развития инструментов и основ регулирования для обеспечения надёжности европейской энергосистемы от стихийных, случайных и злонамеренных атак (<https://www.sesame-project.eu>). Мнения, выраженные в настоящем документе, являются обобщением мнений консорциума SESAME и ни в коей мере не отражает официальную позицию Европейской Комиссии.)

Таблица 5. Краткий обзор исторических отказов энергии.

Страна и год	Социальное влияние		
	Количество потребителей, пострадавших от перерыва электроснабжения	Продолжительность отключения, недоотпуск электроэнергии	Предполагаемые общественный ущерб
Швеция/Дания, 2003	0,86 млн. в Швеции и 2,4 млн. в Дании	2,1 ч., 18 ГВт ч	145-180 млн. евро
Франция, 1999	1,4-3,5 млн., 193 млн. куб. м поврежденных деревьев	от 2 дней до 2 недель, 400 ГВт ч	11,5 млрд. евро
Италия/Швейцария, 2003	55 млн.	18 ч	
Швеция, 2005	0,7 млн., 70 млн. куб м поврежденных деревьев	от 1 дня до 5 недель, 111 ГВт ч	400 млн. евро
Центральная Европа, 2006	15 млн. хозяйств	Менее чем 2 ч.	

Источник: Бомпард (Bompard) и др. 2011

Таблица 6. Факторы, повышающие готовность домашних хозяйств Европы платить для предотвращения сбоев в подаче электроэнергии.

Изменчивость	Увеличение способности домохозяйств платить (WTP) по сравнению со средним по всей выборке
Принадлежность к высшей группе 20% доходов страны	8,6%
Дети до 14 лет в домашнем хозяйстве	4,4%
Влияние свободного времени	14,6%
Влияние на всю страну (вместо жилой улице только)	32,7 %

## 2. Экономические последствия от перебоев электроснабжения.

Решения по инвестированию или поддержанию действующей инфраструктуры передачи и распределения электроэнергии опираются на научную оценку экономической значимости надёжности электроснабжения.

Разработка необходимых мер по повышению безопасности электроснабжения в основном является инженерной проблемой, но данная проблема имеет и экономическую сторону исследований, которая выражается в поддержке развития системы стимулов для уравнивания возможных рыночных провалов. Очевидно, что надёжность электроснабжения представляет собой нерыночный продукт и может быть приобретена только в сочетании с электроэнергией. Таким образом, значение надёжности электроснабжения не может быть определено непосредственно. Именно поэтому отказ электроснабжения, и, в частности, затраты на дополнительную электрическую мощность не могут быть доступны и, как правило, используются для оценки стоимости надёжности электроснабжения (Баарсма (Baarsma) и Хоп (Hop) 2009; де Ноий (de Nooij) и др 2007.). В целом, экономические затраты на перебои в подаче электроэнергии можно разделить на три категории (Мунасинге (Munasinghe) и Сангви (Sanghvi) 1988): (1) прямые затраты, (2) косвенные затраты, и (3) результат долгосрочных затрат макроэкономической значимости. В то время как для общественности прямые экономические потери являются наиболее очевидными, они, как правило, подчиняются косвенным экономическим потерям. Косвенные издержки воз-

никают также в результате перебоев в подаче электроэнергии, но они принадлежат к той части общей суммы убытков, возникающих из-за отсутствия электроснабжения после отключения питания, которая включает в себя стоимость производственных отключений или потери добавленной стоимости из-за недоступности входов или логистики (Кентолла (Centolella), 2006).

Модель blackout-simulator.com учитывает это и сочетает в себе прямые и сопутствующие измерения с третьей категорией оценки - условных методов оценки (CVM), которые формируют краеугольный камень оценки бытовых повреждений. CVM позволяет делать оценку энергетических потерь, связанных с отказами электроснабжения потребителей (Рэйчл (Reichl) и др., 2013). Модель включает в себя результат опроса 8,336 потребителей из всех стран-членов ЕС (минимум 250 в каждой стране) для оценки готовности домохозяйств платить дополнительные средства для устранения перебоев в подаче электроэнергии. Выборка участников опроса проводилась среди европейского населения. Результаты были проверены на предмет соответствия. Например, домашние хозяйства обычно показывают более высокий WTP для предотвращения (территориально) больших перерывов по сравнению с отключениями, которые затрагивают только их окрестности.<sup>3</sup>

3 В абсолютном выражении WTP для предотвращения пятичасового отключения электроэнергии, затрагивающего всю страну, увеличивается от € 4,4 до € 5,9 в среднем по всем 27 государствам-членам Европейского Союза (2012 год) по сравнению с отключений меньшей длительности.

Рис. 10. Оценка энергетического отказа в Италии 28 сентября 2003 г.

Дата начала отключения	28 сентября 2003 г.
Начальное время отключения	3.00 до полудня
Продолжительность в часах	3-16 часов в зависимости от региона
Вовлеченные провинции	Италия (кроме Сардинии)
День отдыха населения	Да (воскресение)



Таблица 7. Общие потери во всех регионах и секторах; краткий обзор файла blackout-simulator.com

	Первичный сектор	Вторичный сектор	Третичный сектор	Общие потери	WTP домохозяйств	Общие потери в регионе
Северный регион	5.3	136.7	60.8	202.8	43.0	245.8
Центральный регион	20.6	217.6	154.6	392.8	98.2	491.0
Южный регион	20.9	82.8	97.5	201.2	94.3	295.5
Сицилия	12.4	33.7	54.6	100.7	49.5	150.2
<b>Оьщие</b>	<b>59.2</b>	<b>470.8</b>	<b>367.5</b>	<b>897.5</b>	<b>285.0</b>	<b>1182.5</b>
<b>% от ВВП</b>	<b>0.004%</b>	<b>0.031%</b>	<b>0.025%</b>	<b>0.060%</b>	<b>0.019%</b>	<b>0.079%</b>

Важно отметить, что сезон, в котором происходит прерывание электроснабжения, оказывает существенное влияние на ущерб от отключений электроэнергии. Европейские хозяйства имеют значительно более низкую WTP для предотвращения отключения электроэнергии летом, чем зимой. Это можно объяснить меньшей зависимостью от электроэнергии для освещения и тем фактом, что важные услуги, такие как отопление, вероятно, будут в первую очередь востребованы во время зимнего сезона<sup>4</sup>. В табл. 6 представлен краткий обзор факторов, оказывающих влияние в отношении оценки надёжности электроснабжения. Её следует интерпретировать следующим образом: если семья принадлежит к 20% группе с самым высоким доходом, то эта семья - в среднем - готова платить на 8,6% больше во избежание отключений электроэнергии, чем средние домашние хозяйства в Европейском Союзе. То же самое относится и к другим составляющим таблицы.

В итоге, сочетание подходов к моделированию домашних и не домашних хозяйств позволил blackout-simulator.com оценить 266 (из первоначальных 271) хозяйств 2 регионов в Европейском Союзе. В общей сложности в анализ были включены девять секторов экономики. Такой высокий уровень детализации имеет важное значение, особенно, если результаты используются в региональном планировании инфраструктуры, регулировании и энергетической политике. Таким образом, blackout-simulator.com может оценивать различные отключения с различными свойствами. База

данных предназначена для контроля за свойствами отключений, такими как сезон и время выхода из строя, бытовые характеристики, и такие, как уровень образования, степень урбанизации, предыдущий опыт системных аварий, возраст и доход домашних хозяйств, а также географический размах отключения электроэнергии. Практика применения этого инструмента представлена далее.

### 2.1. Демонстрация работы blackout-simulator.com – Оценка отключения мощности в Италии в сентябре 2013 г.

Ярким примером значительных отключений электроэнергии в Европе является отключение в Италии 28 сентября 2003 года. Отключение электричества было вызвано серией аварий на линиях электропередачи, от которых впоследствии пострадала вся Италия (за исключением Сардинии). На рис. 10 показаны степень тяжести данного отключения электроэнергии и среднее время, которое понадобилось для полного восстановления электроснабжения в разных частях страны. Экономические потери моделируются за период с 3 часов утра до полного восстановления. Общая продолжительность отключений составила 3 часа на севере, 9 часов в центре, 12 часов на юге, и 16 часов в Сицилии. На рисунке 10 также изображены характеристики отключения этого сценария. В blackout-simulator.com пораженные участки выбираются с помощью функции интерактивной карты.

<sup>4</sup> WTP европейских домохозяйств в данном случае в среднем уменьшается от € 4,4 (зимой) до € 2,9 (летом).

## Пример системной аварии в Италии

- Системная авария 28 сентября 2003 г.
- 3 часа на севере, 9 часов в центре, 12 часов на юге, и 16 часов в Сицилии
- Поведение потребителя; измеренные профили нагрузки



### Время и регион системной аварии

Дата: 28.09.2003 от 3 час

Продолжительность: 3 часы

Регионы: ITC2 Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste  
ITD2 Provincia Autonoma di Trento  
ITD4 Friuli-Venezia Giulia  
ITC4 Lombardia  
ITC1 Piemonte  
ITD1 Provincia Autonoma di Bolzano/Bozen  
ITD3 Veneto  
ITC3 Liguria



### Время и регион системной аварии

Дата: 28.09.2003 от 3 час

Продолжительность: 9 часы

Регионы: ITD5 Emilia-Romagna  
ITE1 Toscana  
ITE2 Umbria  
ITE3 Marche  
ITF1 Abruzzo  
ITE4 Lazio



### Время и регион системной аварии

Дата: 28.09.2003 от 3 час

Продолжительность: 12 часы

Регионы: ITF2 Molise  
ITF3 Campania  
ITF4 Puglia  
ITF5 Basilicata  
ITF6 Calabria



### Время и регион системной аварии

Дата: 28.09.2003 от 3 час

Продолжительность: 16 часы

Регионы: ITG1 Sicilia



Вовлеченные в системную аварию регионы в другое время

Стоимость потерь 1,182.44 миллион Евро\*

\* Результаты учитывают инфляцию

Рис. 11. Представление оценки тотального отключения электричества в Италии 28 сентября 2003 года с использованием модели погашения blackout-simulator.com (изображение с blackout-simulator.com).

Как показала практика, blackout-simulator.com дает наглядный<sup>5</sup> и рациональный способ оценки повышения стабильности инвестирования для надежного электроснабжения и других энергетических и политических решений. При использовании этого инструмента, который доступен для широкой общественности, возможно провести экономическую оценку надежности электроснабжения на основе затрат от системных аварий для компаний, учреждений и домохозяйств, готовых платить. Для развития модели, было проведено обширное обследование, включающее более 8300 домохозяйств во всех странах-членах ЕС. В свете представленного, меры по обеспечению надежности электроснабжения получили повышенное общественное внимание. В связи с этим, такие социальные факторы, как восприятие событий в сети очень важны для обеспечения взаимодействия с общественностью при инвестировании в надёжность будущей сетевой инфраструктуры. В следующем разделе представлен новый подход к оценке решений использования трансъевропейской количественной структуры, которая в настоящее время является доступной.

### 3. Социальное восприятие электроэнергетической инфраструктуры.

Задача поддержания высокого уровня надежности требует адаптации и модернизации энергетической инфраструктуры. Кроме того, нынешнее видение Европейским Союзом электроэнергетической системы с малым количеством угольных станций требует развития воздушных линий электропередачи для интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ), обеспечивая при этом надежное электроснабжение в будущем. Тем не менее, особенно в последнее время, новые проекты - например, воздушные линии электропередачи - по всей Европе, были встречены негативно общественностью, что способствовало длительным задержкам в завершении этих проектов и иногда их отмене. Однако, внедрение возобновляемых источников электроэнергии подразумевает усиление электроэнергетической сети (ENTSO-E, 2012). Чтобы преодолеть эту дилемму, знание о общественном восприятии сетевой инфраструктуры и факторов, влияющих на это восприятие, имеет первостепенное значение. Это касается не только системы электроснабжения.

С этой целью Кохен (Cohen) и др. (2016 г.) представили первую эмпирическую оценку общественного отношения к инфраструктуре электроэнергетики с акцентом на линии электропередачи. Они обнаружили существенные различия по всей Европе. В странах Западной Европы жители изначально выступают резко против развития электроэнергетической сети, а в новых государствах-членах ЕС (Восточная Европа) жители более доброжелательно относились к новому строительству сетей. Во многих случаях сопротивление против новой энергетической инфраструктуры с личной точки зрения понятно, но глубокая оценка этой проблемы

5 В зависимости от требуемого уровня детализации выявление перебоев в подаче электроэнергии в настоящее время осуществляется до двух минут и от пяти до десяти щелчков мыши.

#### Легенда Доля ответов DNA

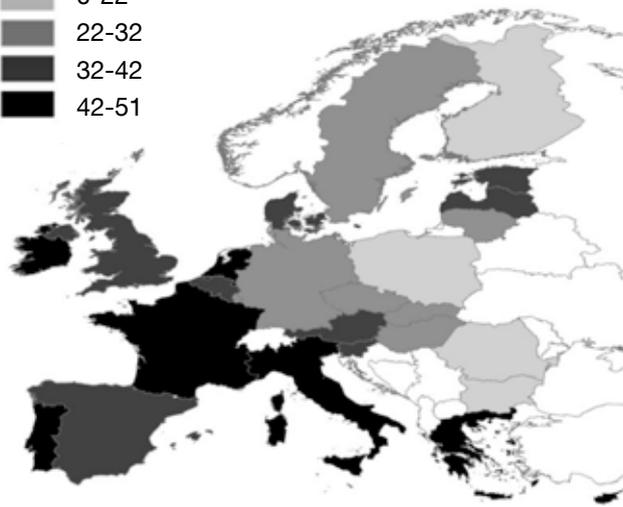
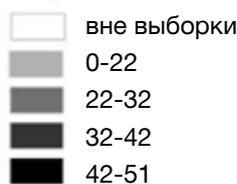


Рис. 12. Социальное отношение к энергетической инфраструктуре и сетям в Европе.

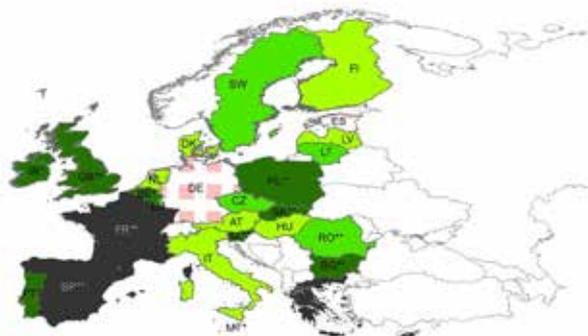
Источник: Кохен (Cohen) и др. 2016

до сих пор не осознана. Тем не менее, важность учета этих тенденций была признана. Например, из недавнего доклада ENTSO, относительно развития сети: «в целом, наблюдаются существенные задержки освоения одной трети инвестиций, в основном из-за социального сопротивления» (ENTSO-E, 2012). Тенденции, в соответствии с которыми общее восприятие, а именно переход к низкоуглеродному обществу, - встречает сопротивление, но которые необходимы для развития, часто упоминается как «не на моём заднем дворе» или NIMBY вопрос. Анализ «NIMBY-Status-Quo»<sup>6</sup>, как это видит Кохен (Cohen) и соавт. (2016 г.) представлен на рис. 12. Там представлено мнение опрошенных жителей при строительстве электрических сетей в 250 м от дома.

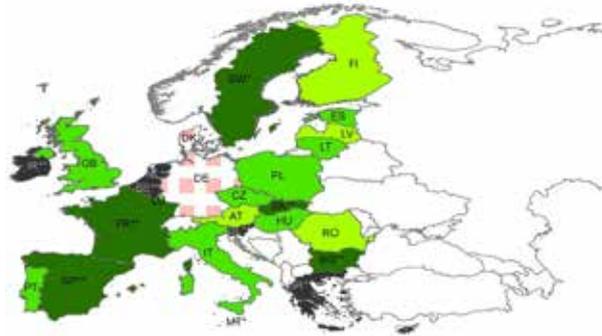
В настоящее время страны Западной Европы все более сильно стремятся уйти от энергетической зависимости. Кохен (Cohen) и др. (2016 г.) представили также оценку влияния информации об инфраструктурных проектах на население. Как только населению сообщали, что строительство линий электропередачи будет иметь положительный экономический и экологический эффект, как правило, эти проекты встречали с меньшим сопротивлением, чем те, которые имеют только компенсационные выгоды для общества (например, создание общественной инфраструктуры). В частности, подчеркивая любой потенциал долгосрочных сокращений загрязнения атмосферы или экономическую выгоду от конкретного проекта, в среднем вероятность того, что население выступает против проекта уменьшается на 10-11%. Относительное влияние различных информационных кампаний отображено на рис. 13 (страница 46).

6 В частности, это касается доли жителей, которые выступают против развития. В этом отношении DNA соответствует «Определенно не принимаю», как показано на рисунке.)

### Экономические выгоды (T1)



### Экологические выгоды (T2)



### Общественные выгоды (T3)



#### Легенда

#### Marginal effect



Рис. 13. Оценка кампаний по изменению восприятия информации.

Источник: Кохен (Cohen) и др., 2016.

В целом, результаты показывают, что если положительные преимущества предлагаемой энергетической инфраструктуры могут быть представлены населению, одобрение проекта существенно возрастает. Сильное положительное влияние на принятие двух из трех выгод позволяет предположить, что многие местные жители могут преодолеть NIMBY настроения при предъявлении соответствующей информации.

В дополнение к анализу конкретной страны, особое внимание уделялось эффектам и распространению стратегий по «озеленению» электроэнергетики. Недавние исследования выявили факт, что возобновляемые источники энергии (ВИЭ) влияют как на уровень одобрения, так и на эффективность изменения потенциально отрицательных (т.е. отклоненных) настроений. На рис. 14 показано, что чем больше доля возобновляемых источников энергии в конечном потреблении энергии, тем меньше вероятность прямого сопротивления к новым проектам сетевой инфраструктуры (Кохен (Cohen) и др. 2016 г.).

Эффективность информационных процессов также определяется тем насколько полно подается информация об альтернативных источниках энергии. Подводя итог, можно заключить, что данные свидетельствуют о том, что если возобновляемые источники уже активно используются, то вероятность немедленного отказа уменьшается, в то же

время информационные кампании имеют меньший эффект если население категорически против проекта развития энергетической инфраструктуры. В общем, исследования общественного мнения относительно дальнейшего строительства электросетей существенно помогли понять факторы, которые влияют на мнение населения по поводу инфраструктурных проектов. Эмпирически обнаруженные результаты подчеркивают необходимость разработчикам адаптировать стратегии проектов и учитывать мнение населения близлежащих районов. Как уже говорилось Cohen и др. (2014), развитие близлежащей энергетической инфраструктуры несет реальные затраты для местных заинтересованных сторон; таким образом, стратегии приемки должны быть направлены на содействие и эффективные переговоры между местным населением и проектировщиками инфраструктуры, а не на игнорирование требований населения.

Этот раздел показывает, какие информационные стратегии будут иметь наибольший положительный эффект для снижения отрицательного мнения, что поможет достичь компромисса с населением. Эта информация доступна для каждой страны в Европейском Союзе по отдельности и позволяет руководителям проектов адаптировать конкретные информационные кампании с определенными особенностями. Так, например, любые экономические последствия новых линий электропередачи должны быть отмечены во Франции и Испании, в то время как любые выгоды для

## Принятие и распространенность ВИЭ

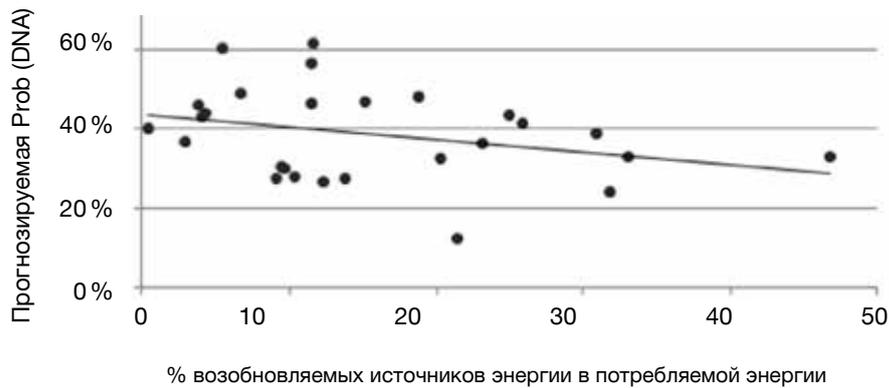


Рис. 14. Принятие энергетических инфраструктур и доли использования возобновляемой энергии.

Источник: Кохен (Cohen) и др. 2016

## Средний эффект от возобновляемых источников энергии

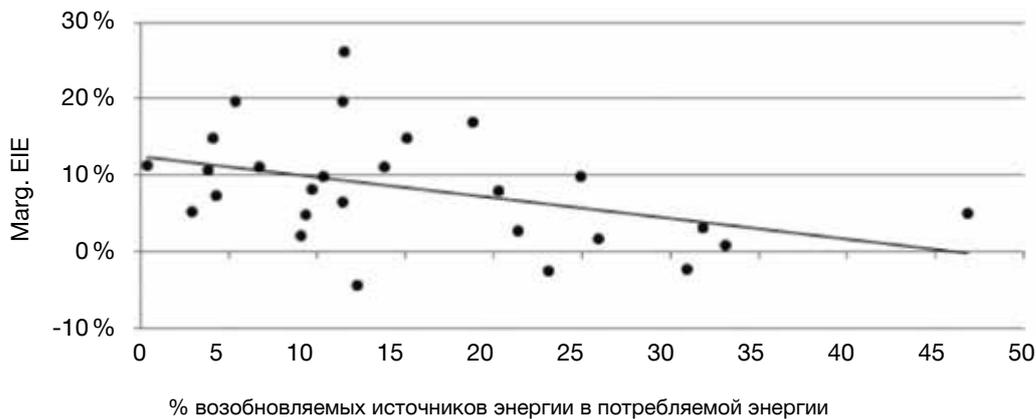


Рис. 15: Средний эффект информационной кампании

Источник: Кохен (Cohen) и др. 2016

окружающей среды должны быть в центре внимания в Нидерландах и Бельгии.

#### 4. Резюме.

Надёжность электроснабжения в Европе находится на высоком уровне. Однако при поддержании такого уровня надёжности в будущем возможен целый ряд проблем. Несмотря на высокий уровень надёжности электроснабжения, крупномасштабные аварии могут произойти даже в Европе, приводя к существенным проблемам для населения, бизнеса и каждого отдельного человека.

Эффективные решения в отношении инвестиций в энергетическую инфраструктуру возможны только тогда, когда уровень надёжности электроснабжения для домашних хозяйств и предприятий может быть определен. Для того чтобы получить целостную оценку надёжности поставок, возможно применение подхода, основанного на модели:

blackout-simulator.com. Она включает в себя точную информацию из более чем 8300 европейских домохозяйств по величине ущерба, причиненного бизнесу, администрации и государственным учреждениям, использующим подход раздельного учета.

В результате, можно моделировать не только такие особо уязвимые сектора, как полупроводниковая промышленность, производство бумаги или процессы генерации данных, но и другие отрасли экономики (NACE 2008 экономической классификации). Впервые это позволило судить о подсекторах европейской экономики в провинциях относительно степени их зависимости от надежного снабжения электроэнергией.

В этой главе содержится анализ методов предотвращения рисков на примере отключения электроэнергии 2003 года в Италии, где пострадали более 55 миллионов человек. Ава-

рия продолжалась в течение трех часов на севере, девяти часов в центре Италии, 12 часов на юге, и до 16 часов в Сицилии. Макроэкономический ущерб этой аварии составил 1,18 млрд. € (€ в 2003 г.). Уровень детализации является беспрецедентным и включает в себя данные по экономическому ущербу для каждого сектора экономики, а также для домашних хозяйств (897,5 млн. € и 285,0 млн. € соответственно).

И, наконец, представление общественного восприятия энергетических инфраструктур подчеркивает различия между европейскими странами и открывает новые возможности для поддержки соответствующих информационных кампаний. Было установлено, что экологические и экономические преимущества должны быть представлены в большинстве стран-членов ЕС для воздействия главным образом на население и для дальнейшего обсуждения и разъяснений по особенностям проектов. В целом, однако, хотя в энергетической инфраструктуре рассмотрение общественного мнения происходит по мере необходимости, проблема общественного признания является одной из основных причин задержек развития европейской сетевой инфраструктуры. Используя новые доказательства можно решать эти проблемы, а передовая практика информационных кампаний, может быть уточнена предпочтениями конкретных стран.

## Литература.

Baarsma, B. E., & Hop, J. P. (2009). Pricing power outages in the Netherlands. *Energy*, 34 (9), 1378-1386.

Bialek, J. W. (2004). Recent Blackouts in US and Continental Europe: Is Liberalisation to Blame?

Bompard, E., Huang, T., Tenconi, A., Wu, Y., Zelastiba, D., Cremenescu, M., et al. (2011). Securing the European Electricity Supply Against Malicious and accidental threats.

Centolella, P. a.-D. (2006). Estimates of the Value of Uninterrupted Service for The Mid-West Independent System Operator. Tech. rep., SAIC.

Cohen, J., Moeltner, K., Reichl, J., & Schmidthaler, M. (2016). An Empirical Analysis of Local Opposition to New Transmission Lines Across the EU-27. *The Energy Journal*, 37 (3), 59-82.

Cohen, J., Reichl, J., & Schmidthaler, M. (2014). Re-focussing research efforts on the public acceptance of energy infrastructure: A critical review. *Energy* (76), pp. 4-9.

de Nooij, M., Koopmans, C., & Bijvoet, C. (2007). The value of supply security. The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment. *Energy Economics*, 29, 277-295.

ENTSO-E. (2012). Ten year network development plan 2012.

Klein, K. R., Rosenthal, M. S., & Klausner, H. A. (2005). Blackout2003: Preparedness and Lessons Learned from the Perspective of Four Hospitals.

Munasinghe, M., & Sanghvi, A. (1988). Reliability of Electricity Supply, Outage Costs and Value of Service: An Overview. IAEA Special Issue Electricity Reliability Issue (9).

Reichl, J., Kollmann, A., Tichler, R., & Schneider, F. (2008). The importance of incorporating reliability of supply criteria in a regulatory system of electricity distribution: An empirical analysis for Austria. *Energy Policy*, 36 (10), 3862-3871.

## 5. Приложение.

### 1.1. Экономический сектор

На основании имеющихся данных мы определили девять секторов экономики, которые основаны на системе NACE 2.

- (A) Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство
- (B, D, E) Шахты и карьеры

Электричество, газ, пар и кондиционирование воздуха;  
Водоснабжение, канализация, управление отходами и рекультивация

- (C) Производство
- (F) Строительство
- (G, H, I) Оптовая и розничная торговля, ремонт автотранспортных средств и мотоциклов

Транспортировка и хранение;  
Гостиницы и общественное питание

- (J) Информация и коммуникации
- (K) Финансовая и страховая деятельность
- (L, M, N) Деятельность с недвижимым имуществом;

Профессиональная, научная и техническая деятельность;  
Административная и вспомогательная деятельность

- (O, P, Q, R) Государственное управление и оборона, обязательное социальное обеспечение;

Образование;  
Здравоохранение и социальная работа;  
Искусство, развлечения и отдых

## 1.6. Переход к системе на базе возобновляемой энергетики: Почему общественное мнение играет важную роль в планировании энергосети.

Ротрауд Хаенлэйн (Rotraud Haenlein),  
Germanwatch

### Резюме.

Модернизация европейской электроэнергетической инфраструктуры имеет решающее значение для будущих возобновляемых источников энергии на основе системы питания с низким уровнем выбросов углерода, это обеспечит энергетическую безопасность и устойчивость. Мы видим все больше и больше доказательств того, что система питания на основе нестабильных источников энергии, таких как ветер и солнечная энергия, может обеспечить надёжное снабжение даже в высокоразвитых в промышленном отношении и с низким содержанием углерода районах Европы. Но в то же время, эти новые возобновляемые источники энергии создают проблему с точки зрения сетевой интеграции. В настоящий момент проекты передающих сетей уже оказались в центре общественных дебатов на местном уровне. Расширение взаимодействия с заинтересованными сторонами, общественный диалог по вопросам нахождения коридора и технологий, а также прозрачной процедуры планирования на основе высоких экологических стандартов может помочь преодолеть обеспокоенность общественности по поводу новых проектов магистральных сетей. Несколько европейских операторов магистральных сетей (СО) протестировали различные инновационные подходы для достижения скорейшего налаживания сотрудничества с экологическими группами и привлечение общественности на очень ранней стадии процедуры планирования. Их опыт показывает, что сотрудничать стоит на раннем этапе с местными заинтересованными сторонами. В то же время, эту область продолжают непрерывно изучать.

### Электрические сети будущего.

Электрические сети являются неотъемлемой частью при передаче энергии в Европе и играют важную роль в будущем европейской энергетической системы с низким уровнем выбросов углерода на основе возобновляемых источников энергии (Бэлк (Balke) 2014). Они являются экономически и энергетически эффективными по сравнению с другими вариантами инфраструктуры, такими как технологии хранения. Большие и умные энергосистемы балансируют колебания в поставках электроэнергии от ВИЭ. Таким образом, модернизация европейских энергосистем является важной частью реструктуризации всей энергетической системы.

В контексте этих непрерывных изменений, мы сталкиваемся как с техническими, так и с социальными проблемами.



Рис. 16. Будущая система на базе возобновляемой энергии в Европе требует новых связей, чтобы передавать возобновляемое электричество от удаленных мест генерации к центрам потребления и к местам хранения.

Источник: Germanwatch 2015

Часто, когда проектируются или строятся крупные линии электропередачи, происходят протесты населения. Эти конфликты должны решаться путем конструктивного диалога между заинтересованными сторонами. В этой главе описываются общие принципы конструктивного участия общественности со ссылкой на опыт по европейскому проекту BESTGRID. В рамках этого проекта пять европейских СО тесно сотрудничали с экологическими негосударственными организациями в период 2013-2015 годов, также они опробовали различные подходы раннего сотрудничества с представителями гражданского общества в Бельгии, Великобритании, Италии и Германии. Остальная европейская практика придерживается их опыта, заключающегося в том, что раннее вовлечение заинтересованных сторон может помочь в поиске вариантов проектирования, которые могут иметь лучшее признание заинтересованных сторон (Сандер (Sander) и др. 2012).

### Наглядная процедура планирования.

Планирование энергосистемы является очень сложным мероприятием, что затрудняет работу операторов магистральных систем (СО), в части обеспечения четкой и полезной справочной информацией. Большинство людей не хотели бы читать длинные отчеты или многочисленные консультационные исследования и другие документы. Кроме того, различные заинтересованные стороны будут нуждаться в различной информации: эксперты могут испытывать желание разобраться в сложных технических вопросах, в то время как неспециалист мог бы легко овладеть информацией, предоставленной местными жителями, которая имеет отношение к их сообществам.

Оценки требований 1-й уровень		Коридор / планирование маршрута Уровень 2 (в некоторых странах процедура проходит в два этапа)		Строительство и эксплуатация
Сценарии	План разработки сети	Коридоры	Подробные маршруты	Строительство и эксплуатация
Разработка сценариев ЕС / национальных	Планируется развитие энергосистем или сетей (TYNDP) ЕС/ национальных	Коридоры	Подробное определение маршрутов	
Каковы возможные будущие изменения производства электроэнергии и спроса?	Какие проекты нужны?	В каком коридоре должны быть построены линии электропередачи?	Какой маршрут должен быть определен в детализации? Где будут построены опоры (или кабели)?	
		Пространственное планирование	Коридор и планирование маршрута	

Рис. 17. Процедура планирования линий электропередачи.

Источник: Germanwatch, основанный на Bundesnetzagentur 2015

Соответствующие органы, а также СО, должны брать на себя ответственность за предоставление информации экспертам и другим лицам, заинтересованным в участии в консультациях в самом начале процесса планирования. Лица, ответственные за планирование сети, должны использовать все средства коммуникации для распространения информации более широкой аудитории, а также предоставлять различные виды информации. Они должны четко сообщать, как процедура планирования энергосистемы работает в соответствующей стране. Ключевым условием открытого, прозрачного процесса планирования является то, что все заинтересованные стороны понимают структуру процедуры планирования и знают основных игроков с правовой ответственностью планирования электросети.

### Раннее участие в процедуре поиска коридора.

Операторы магистральных систем, желающие развивать инновационный и совместный подход к планированию электросетевой инфраструктуры, должны задаться такими вопросами на ранней стадии процесса:

- Кто должен участвовать, когда и как?
- На каком этапе процесса планирования какой уровень участия целесообразен и осуществим?

Чтобы ответить на эти вопросы, используются два уровня планирования - оценка потребностей и планирование коридора и маршрута, как это показано на рис. 17, т.е. их следует анализировать отдельно друг от друга.

На обоих уровнях планирования общественность, принимая участие, может следовать пятиступенчатому подходу (Роттман (Rottmann) 2015):

1. Тщательный и усердный анализ заинтересованных сторон («картирование заинтересованных сторон»).
2. Индивидуальная и прозрачная стратегия участия общественности. Этот подход будет использоваться во время проведения оценки потребностей или для конкретного проекта.
3. Последовательная реализация и исполнение стратегии участия.
4. Представление и обсуждение итогов публичных консультаций, включая возможность для обратной связи заинтересованных сторон.
5. Оценка стратегии участия общественности.

В дополнение к этим общим принципам для эффективного участия СО также необходимо разработать стратегии, которые связаны с интересами, выраженными участвующими сторонами по конкретному проекту линии электропередачи.

### Варианты и ограничения участия общественности в планировании энергетической сети.

Заинтересованные стороны, участвующие в процессах планирования, часто имеют чрезмерно высокие ожидания относительно результатов работы. Чтобы избежать разочарований, проектировщики сети и операторы должны четко объяснить, что они подразумевают под участием.

До сих пор участие общественности в процессе планирования сети не было, как правило, ограничено первыми двумя

уровнями участия.<sup>7</sup> Это происходит потому, что планирование энергосистемы требует экспертных знаний в самых разных областях, в том числе энергетической экономике, электротехнике, законодательстве в области планирования, законе об охране природы и т.п. Таким образом, эксперты по энергосистемам и энергетике принимают окончательные решения, связанные с оценкой потребностей. Эти специалисты могут включать в себя «доверенных экспертов» из различных заинтересованных групп, но, кроме того, этим экспертам необходимо принимать во внимание знания о местности. Тем не менее, общественность может участвовать и принимать дальнейшие шаги в процессе планирования коридоров и включает некоторую форму совместного принятия решений (третий шаг по «лестнице участия», показанной на рис. 18). Хорошие возможности для участия общественности в процессе планирования электросетей имеются на информационном и консультационном уровнях. Участие общественности может быть расширено до уровня совместного принятия решений, особенно когда речь идет об определении коридоров и маршрутов.

Системные операторы, политики и государственные органы вышли за рамки формальных требований и расширили сферу их взаимодействия путем организации неформальных информационных и диалоговых событий на ранней стадии планирования. Существуют различные причины для этого: во-первых, раннее взаимодействие может способствовать поиску более подходящих вариантов планирования. Во-вторых, выявление проблем и потребностей местных и экологически заинтересованных сторон на ранней стадии помогает более эффективно определять местные смягчающие меры. И, наконец, различные заинтересованные группы выразили недовольство тем, что во время планирования их предложения и интересы не учитываются, что требуется по закону.

Еще многое предстоит сделать: следует искать пути того, как лучше всего объединить выводы неофициальных диалогов, в которых обсуждаются проблемы поднятые местными жителями и другими соответствующими заинтересованными сторонами, при официальной процедуре планирования<sup>8</sup>.



Рис. 18. Уровни участия общественности в планировании энергетической сети.

Источник: Germanwatch: на основе Арнштайна (Arnstein) (1969) и Рау (Rau) и др. (2012)

## Интересы владельцев фондов и общественные интересы.

Широкий круг заинтересованных сторон может быть прямо или косвенно затронут проектом линий электропередачи. Их законные, но еще иногда и противоречивые интересы и аргументы должны быть приняты во внимание и тщательно сбалансированы во время процесса планирования. Однако есть различные общественные проблемы, которые, с точки зрения многочисленных местных заинтересованных сторон, рассматриваются в недостаточной степени в рамках формальной процедуры планирования:

**Ландшафт:** Новые линии электропередачи и новые генерирующие объекты, такие как ветровые турбины, изменяют внешний вид знакомых пейзажей. Местные жители, туристы, или люди, которым нравится существующий пейзаж, могут быть убеждены, что проект окажет негативное влияние на пейзаж и окружающую среду, поэтому выступают против проекта. Опасения по поводу воздействия на ландшафт и природу могут добавить давление общественности, направленное на предотвращение продвижения проектов. Сетевые операторы часто борются с защитой интересов и сильными эмоциями заинтересованных жителей в процессе планирования коридора. Они должны учитывать различные законы и охраняемые законом права и интересы, в том числе право собственности, сохранение природы, а также законодательство в области контроля выбросов. В некоторых странах защита ландшафтов частично входит в законы об охране природы, но во многих странах, закон в достаточной степени не защищает интересы заинтересованных сторон, таких как туристические ассоциации и местные жители. В результате чего внимания проблемам в области защиты окружающих ландшафтов во время официальной процедуры планирования уделяется мало или вообще не уделяется. Точно также не были приняты никакие регулирующие дей-

7 В соответствии со ссылкой «Лестница гражданского участия Арнштайна»: Социологи предполагают, что участие общественности можно разделить на четыре уровня, начиная только от предоставления информации и до самостоятельного управления. Арнштайн, Шерри Р (Arnstein, Sherry R) (1969). Лестница гражданского участия. JAIP, Vol. 35, № 4, 216-224. [www.lithgow-schmidt.dk/sherry-arnstein/ladder-of-citizen-participation.html](http://www.lithgow-schmidt.dk/sherry-arnstein/ladder-of-citizen-participation.html)

Рау, И (Rau, I), Швейцер-Райс Р. (Schweizer-Ries P) и Хильдебранд, Ж. (Hildebrand J.) (2012). Участие в Стратегии: Серебряная пуля для общественного признания? В: Кабисч С. (Kabisch S.) и др: Уязвимость, риск и сложность: Влияние глобальных изменений на среду обитания человека, Лейпциг, 177-192.

8 Более подробную информацию о вариантах участия в формальных и неформальных процедурах планирования в европейском, немецком и британском законодательстве могут быть найдены в Харисон К. (Harrison K.) и Верхаен Р. (Verheeyen R.) (2015, в печати). Возможности и ограничения для участия общественности в проектах по европейской сети передачи ([www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)).

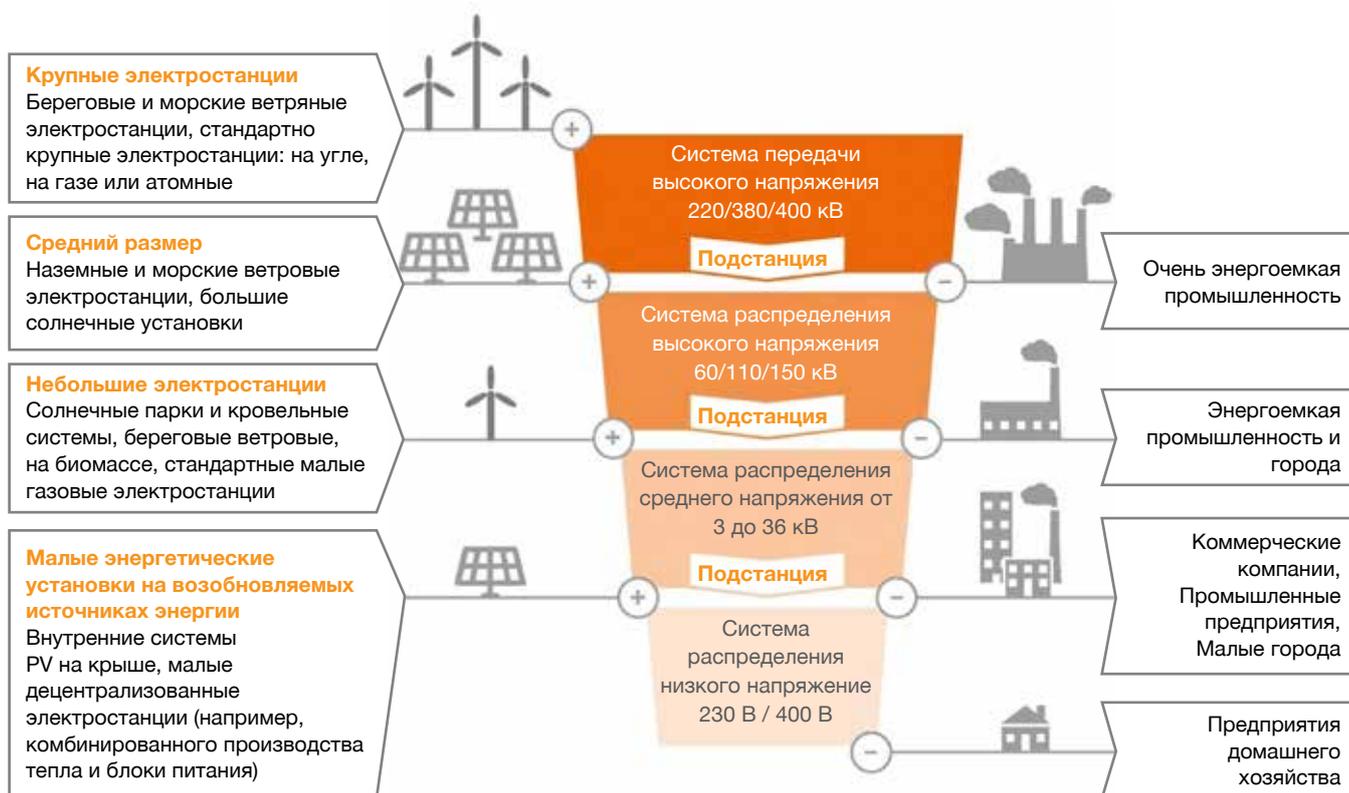


Рис. 19. Электрические сети: Технология зависит от уровня напряжения.

Источник: Germanwatch, основанный на проекте электросети 50Hertz

ствия, предписывающие постройку силовых линий вдалеке от жилых районов. Любая такая попытка может оказаться сложной задачей, учитывая, что в рамках такой правовой базы, никакая новая линия электропередачи не может быть построена в густонаселенных странах, например, в Бельгии.

- **Опасения, связанные с электромагнитными полями (ЭМП):** Несмотря на национальные предельно допустимые нормы воздействия, основанные на научных знаниях, общественность обеспокоена по поводу возможных последствий воздействия магнитных полей окружающих линий электропередачи на их здоровье. Некоторые проблемы со здоровьем все еще вызывают беспокойство. С одной стороны, вопрос о том, может ли воздействие ЭМП иметь дополнительные неблагоприятные последствия на здоровье людей не был достаточно объяснен международным научным сообществом. С другой, на более общем уровне люди чувствуют себя неуютно осознавая, что находятся рядом с невидимыми ЭМП. То, что они чувствуют, не учитывается должным образом. Таким образом, необходимо проводить дальнейшие исследования и выдавать прозрачную информацию о влиянии ЭМП. Планируя системы электропитания необходимо серьезно подойти к вопросам связанным со здоровьем. Должна быть предоставлена подробная информация о потенциальном воздействии электромагнитных полей и осуществляться сотрудничество с экспертами из университетов для возможности объяснить потенциальное воздействие.

- **Снижение стоимости имущества:** Во многих случаях публичные возражения против проекта расширения сети может оставаться в том же состоянии, несмотря на усилия по сокращению воздействия, потому как некоторые линии электропередачи должны пересекать частную собственность, особенно в густонаселенных районах. В соответствии с национальным законодательством существуют различные виды компенсационных мер, которые должны быть рассмотрены или взяты на вооружение, в том числе:
- **Финансовая компенсация за земли, леса, или частную собственность:** Компенсации владельцам недвижимости производятся в соответствии с национальным законодательством, когда утверждающий орган обязывает их соглашаться на строительство опоры на их собственности или простирающейся над своей собственностью линии.
- **Общественная компенсация:** В некоторых странах, например в Германии, СО выплачивают компенсацию за строительство новых линий электропередачи на территории муниципальных образований. Компенсационные меры для сообществ также могут включать в себя нефинансовые меры, которые способствуют уменьшению негативного воздействия других местных проектов.

## Технология: воздушная линия или подземный кабель?

Столкнувшись с модернизацией или строительством новых линий электропередачи, многие пострадавшие сообщества или группы гражданского действия послали запрос с просьбой, чтобы сетевые операторы использовали подземные кабели вместо воздушных линий электропередачи. Как бы там ни было, существуют убедительные экономические и технические причины, для того чтобы как раз все сделать наоборот.

В основном, напряжение, при котором электроэнергия передается или распределяется, определяют применённые технологии. В различных европейских странах сетевые операторы используют подземные кабели по большей мере для передачи электроэнергии с низким и средним напряжением сети. Для линий с экстремально-высоким напряжением это бывает очень редко. Это связано с несколькими техническими и экономическими ограничениями для подземной кабельной технологии на более высоких уровнях напряжения. В случае с высоким уровнем напряжения (СВН), используются технические ограничения и риски, особенно в рамках технологии переменного тока, а также существенно увеличивается стоимость. Это объясняет, почему воздушные технологии чаще всего используются в качестве основной технологии в мире.

Тем не менее, «частично подземные» проекты известны в некоторых частях Европы. Подземные кабели в технологии переменного тока на экстремально-высоком напряжении иногда используются для небольших участков сети передачи (в основном около длиной от 3-5 и до 10 км) в густонаселенных районах. Несколько небольших проектов уже реализованы, одним из крупнейших является кабель голландского Randstad 400 кВ (переменный ток), длиной более 10 км, проложенный около Роттердама и находящийся под управлением системы передачи оператора TenneT. Другие подобные проекты планируются в Дании, Бельгии и Германии.

Из-за технических проблем и ограничений экономического характера, технология подземной прокладки кабеля предположительно не является простым решением для будущих проектов сетей передачи электроэнергии. Но частичная подземная прокладка сетей в некоторых случаях может внести свой вклад в качестве приемлемых решений для некоторых проектов. Использование подземных кабелей должно быть основано на разработке понятных критериев, разработанных с помощью наглядных методик. Это требует проведения консультаций с широким кругом заинтересованных сторон. Необходимо решать и обсуждать в рамках публичных консультаций возможность применения различных технологий. Это включает в себя открытый и честный диалог о целесообразности, ограничениях, недостатках и преимуществах применения различных вариантов технологий.

## Охрана природы.

Расширение проектов энергетических сетей, происходящее за счет перехода на возобновляемые источники энергии, зачастую оказывает воздействие на ландшафт и окружающую



Рис. 20. Связь NemoLink interconnector между Англией и Бельгией, а также проект Stevin, Бельгия.

Источник: Germanwatch, основанный на Elia 2014

природную среду. Таким образом, оценка воздействия на окружающую среду играет важную роль в процедуре планирования. Директивы ЕС об оценке влияния на окружающую среду и сохранении природы определяют общие высокие стандарты, которые применяются при разработке систем. Однако имеются значительные возможности для продвижения хорошей практики в соблюдении регламента и в других областях защиты и совершенствования природы<sup>9</sup>

## Раннее сотрудничество между системными операторами и природоохранными группами.

Партнеры проекта BESTGRID, СО и негосударственные организации обнаружили, что местные заинтересованные стороны крайне равнодушны к участию в процедурах поиска коридора и маршрута. Они справедливо требуют прозрачного объяснения критериев для выбора одного или нескольких альтернативных маршрутов.

Как бы там ни было, раннее вовлечение заинтересованных сторон само по себе, конечно, не означает, что все проблемы могут исчезнуть. Даже самый лучший совместный подход не может обеспечить общепризнанного решения. Имеется в виду то, что, крупными проектами сетей передачи электроэнергии может быть затронут широкий спектр различных интересов, таких как бельгийский проект Stevin. Те люди, которые живут рядом с линиями электропередачи, по понятным причинам, могут отклонить проект, как таковой и он не будет реализован даже при использовании процедур существующей практики. Но прозрачный и открытый для всех подход может привести к лучшему и более законному окончательному решению, отражающему проблемы, предложения и интересы более широкого круга заинтересованных сторон.

9 См Часть 2 руководства BestGrid «Защита животного мира и природы при планировании энергетической сети» (2015, Бёрдлайф (Birdlife) Европа, 2016

Европейские СО протестировали и проанализировали новые способы, позволяющие общественности принимать раннее участие в рамках нескольких пилотных проектов BestGrid (т.е., NemoLink interconnector и бельгийский проект StevinLink).

Извлекая уроки из данного опыта, они прекрасно понимают, что это начало долгого, но важного и плодотворного процесса налаживания регулярного общественного диалога по вопросам развития будущей энергосистемы в европейских странах. Они видят диалог как совместный процесс обучения, а не в качестве стратегии «надавить и принять». Этот процесс требует сильной поддержки со стороны национальных политиков, которые должны объяснить важность электросетевой инфраструктуры для перехода к системе электропитания с низким содержанием углерода, которая может гарантировать безопасное, надежное и устойчивое энергетическое будущее.

## Литература.

50Hertz Transmission (2014). The 50 Hertz electricity highways. How overhead lines work.

Arnstein, S (1969). A Ladder of Citizen Participation. JAIP, 35 (4) 216- 224, or: [www.lithgow-schmidt.dk/sherry-arnstein/ladder-of-citizenparticipation.html](http://www.lithgow-schmidt.dk/sherry-arnstein/ladder-of-citizenparticipation.html)

Balke, J (2014). Integration of Renewable Energy in Europe. KEMA Consulting. Report on behalf of the European Commission. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/201406\\_report\\_renewables\\_integration\\_europe.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/201406_report_renewables_integration_europe.pdf)

Bals C, El Alaoui A & Hänlein R (2015). Public Participation and Transparency in Power Grid Planning. Recommendations from the BESTGRID Project. Handbook - Part 1. <https://germanwatch.org/en/download/11062.pdf>

Bundesnetzagentur (2015). Mitreden beim Stromnetzausbau. [http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2015/FAQ-Konsultation.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2015/FAQ-Konsultation.pdf?__blob=publicationFile)

Elia (2014). Het Stevin-project, essentieel voor de energiebevoorrading van België. [http://www.elia.be/~media/files/Elia/Projects/stevin/Projectbrochure\\_Stevin.pdf](http://www.elia.be/~media/files/Elia/Projects/stevin/Projectbrochure_Stevin.pdf)

Rau, I. Schweizer-Ries, P & Hildebrand, J (2012). Participation Strategies: the Silver Bullet for Public Acceptance? In: Kabisch, S et al: Vulnerability, Risk and Complexity: Impacts of Global Change on Human Habitats, Leipzig, 177-192.

Rottmann, K (2012). Recommendations on Transparency and Public Participation in the Context of Electricity Transmission Lines. Position Paper. <https://germanwatch.org/en/download/8649.pdf>

Sander, A & Schneider T (2012). European Grid Report. Beyond Public Opposition. Lessons Learned Across Europe; Renewables Grid Initiative, Berlin. [http://renewables-grid.eu/uploads/media/RGI\\_European\\_Grid\\_Report\\_final\\_01.pdf](http://renewables-grid.eu/uploads/media/RGI_European_Grid_Report_final_01.pdf)

## 1.7. Культура безопасности в индустрии с высокой степенью рисков и главные принципы.

Любомир Томик (Lubomir Tomik)

Консалтинговая компания CESys Лтд.

Культура безопасности играет важную роль во всех отраслях промышленности с высокой степенью риска, в том числе в энергетике и управлении передающими системами. Повышение культуры труда работников является самым экономически эффективным решением в управлении рисками. Человеческий фактор играет важнейшую роль в управлении отказами и на его долю приходится порядка 80% всех аварийных событий. В повышении устойчивости сети и увеличении эффективности управления рисками стихийных бедствий хорошо организованная культура труда имеет важное значение.

### Что такое культура безопасности?

Говоря простым языком, культура безопасности (КБ) представляет собой ту часть культуры, которая имеет отношение к безопасности. Это подмножество из следующих элементов: групповое мышление, нормы, институты и характеристики таких материальных объектов, которые люди используют, производят, имеют в собственности и т.д., например, формы, процедуры, оборудование (Коркоран (Corcoran) 2010).

Один из примеров – это ядерная энергетика. Ниже приведенные категории культуры безопасности представлены Международной консультативной группой по ядерной безопасности (INSAG): I) Персональные обязательства в вопросе безопасности; включают в себя личную ответственность и критическое отношение к эффективности коммуникаций безопасности; II) Обязательства руководства в вопросе безопасности; ведущая роль безопасности в любых действиях; III) Рабочая среда, основанная на уважении и принятии решений; IV) Системы управления, которые включают в себя: непрерывное обучение; идентификацию и решение проблем; надлежащую среду для решения проблем осведомленности и ведения рабочего процесса.

Согласно INSAG термин культура безопасности может быть определен следующим образом: «Культура безопасности – это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности атомных станций, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью».

Всемирная ассоциация операторов атомных станций (ВАО АЭС) определяет следующий подход к культуре безопасности, основанный на восьми принципах: I) каждый несёт личную ответственность за ядерную безопасность; II) руководители демонстрируют приверженность нормам безопас-

Джеймс Ризон – Пять компонентов культуры безопасности;

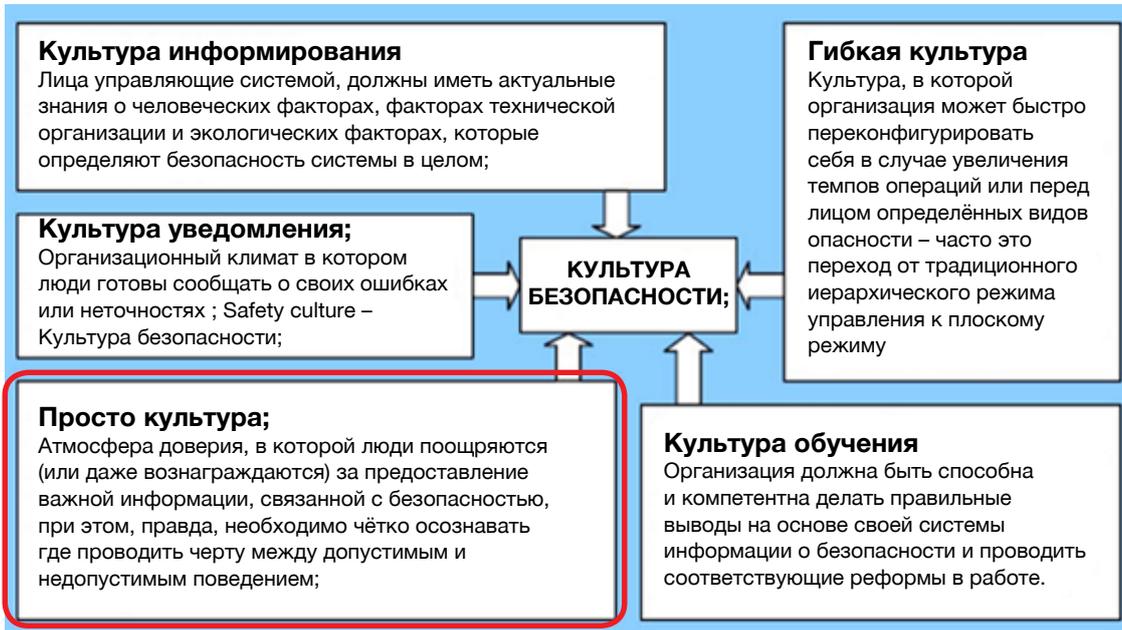


Рис. 21. Культура безопасности.

Источник: Коркоран (Corcoran) 2010

Процесс культуры обоснования.



\*указывает на ошибку вызванную «Системой». Руководитель / управляющий должен оценить, какая часть системы дала сбой и какие корректирующие и предупреждающие действия необходимо выполнить. Корректирующие и предупреждающие действия должны быть задокументированы для анализа руководством.

Рис. 22. Процесс культуры обоснования.

Источник: Ризон (Reason), 1998

# сообщение безопасности недели

неделя 16

относится к принципам SC: 1, 6, 7

1. каждый несёт личную ответственность за ядерную безопасность;
2. руководители демонстрируют приверженность нормам безопасности;
3. в организации царит атмосфера доверия;
4. при принятии решений в первую очередь учитываются аспекты безопасности;
5. ядерная технология признаётся особенной и уникальной;
6. культивируется анкетирование;
7. организационное обучение является всеохватывающим;
8. ядерная безопасность подвергается постоянным проверкам.



## при подъеме, транспортировке и обработке грузов важное – это безопасность

### примеры безопасного поведения

- ✓ я осуществляю работу по подъему и перемещению груза только в соответствии со своей квалификацией;
- ✓ Как крановщик я контролирую весь процесс загрузки. Я проверяю, чтобы при транспортировке груза людей под ним не было и сам не стою под ним;
- ✓ Как крановщик я своевременно предупреждаю людей о том, что груз будет двигаться над ними;
- ✓ Когда груз перемещается в сложном окружении, я вызываю независимых контролёров;
- ✓ перед началом работы с подъемным оборудованием я проверяю его функциональность и убеждаюсь в отсутствии предметов, которые могут упасть;

Область: Охрана труда и техника безопасности;

### рискованное и недопустимое поведение

- ✗ люди, находящиеся по пути следования груза попадают под траекторию его движения;
- ✗ при транспортировке груза крановщик не идёт вслед за ним, чтобы предупредить проходящих мимо работников;
- ✗ управляющие не обучены базовым правилам подъема и транспортировки груза;
- ✗ вопросы и недочёты, связанные с подъемом и перемещением грузов, не поднимаются и не обсуждаются;

Автор: техническое обслуживание.



Рис. 23. Сообщение о безопасности.

Источник: Slovenske Elektrarne

ности; III) в организации царит атмосфера доверия; IV) при принятии решений в первую очередь учитываются аспекты безопасности; V) ядерная технология признаётся особенной и уникальной; VI) культивируется анкетирование; VII) организационное обучение является всеохватывающим; VIII) ядерная безопасность подвергается постоянным проверкам.

Другим примером может служить авиационная отрасль. Например, в документе, опубликованном UK CAA (Управление гражданской авиации Соединенного Королевства) в 2002 году, представлены рекомендации для авиационных организаций технического обслуживания: введение и общие положения по человеческим факторам; культура безопасности и организационные факторы; человеческие ошибки; производительность труда человека и его ограничения; окружающая среда; процедуры; информация; инструменты и практики; взаимодействие; командная работа; профессионализм и честность; программа человеческих факторов в организации.

Согласно теории психологии, культура безопасности очень запутана так как «большая часть культуры находится ниже видимого уровня. Над поверхностью же мы наблюдаем только визуальные её проявления, такие как артефакты,

действия людей, использование языка» (Шейн (Schein) 1985). Нельзя упускать никакие детали. Предотвращение отказов и критическое мышление может предотвратить фатальные последствия.

Одним из примеров реализации культуры безопасности является проект, внедренный в компании Slovenske elektrarne – словенского отделения группы ENEL. Подход основан на следующих драйверах производительности: производительность оборудования; культура организации; процессы; производительность труда сотрудников; производительность мастерства. Для достижения общего подхода к безопасности проект содержит следующие практические результаты: пересмотр корпоративной политики, разработка четкого набора ценностей и моделей поведения для поддержки безопасности; подготовка новых инструментов и оперативных процедур; планы реализации и взаимодействия; тематическое обучение для рабочих и руководителей; постоянный самоанализ и оценка применения аспектов культуры безопасности.

Еще одним примером эффективного инструмента является программа поощрения сотрудника. Она способствует улучшению поведения за счёт установления атмосферы

поддержки и выделения (за счет награждения) тех, кто является примером для подражания в вопросах соблюдения техники безопасности; она также мотивирует сотрудников сообщать о своих проблемах и слабых сторонах, особенно влияющих на безопасность. Другим важным аспектом является укрепление доверия между руководством и сотрудниками с использованием различных финансовых и нефинансовых поощрений.

Еще одним инструментом является **реализация дерева Виновности** в компоненте «Просто культура» (рис. 22). В соответствии с ним существует несколько форм небезопасного поведения: человеческие ошибки, включая непреднамеренные действия; действие выполняется работником нехотя; небрежное поведение, когда работник не уделяет достаточного внимания; безрассудное поведение, когда работник не заботится о последствиях своего действия; преднамеренные нарушения. Всё вышеперечисленное можно преобразовать в диаграмму (рис. 23).

**Конфиденциальная отчётность** – это ещё один инструмент. Конфиденциальный канал для отчёта о проблемах должен быть установлен на каждом заводе, это позволяет получать достоверную проблему безопасности, не раскрывая написавшего. В соответствии с Всемирной ассоциацией ядерных операторов (WANO) восемь из десяти событий повреждения топлива в активной зоне реактора связаны с человеческими ошибками; 75% зарегистрированных ошибок на АЭС связаны с человеческим фактором; 15-20% производственных потерь вызваны неправильными принятыми решениями в компании.

Внедрение вышеприведенных инструментов должно сопровождаться надлежащими процессами взаимодействия, такими как еженедельные сообщения по безопасности, цель которых создать постоянную дискуссию между руководством и работниками по вопросам безопасности. Существует необходимость улучшения среды понимания риска, каждый работник должен быть вовлечен в процессы повышения уровня культуры безопасности и нести за это ответственность. За счёт этого мы должны добиться всеобщего понимания понятий и выполнения мер для поддержки принципов культуры безопасности. Как правило, содержание, тему, расписание и тип взаимодействия определяет комитет по культуре безопасности предприятия. Темы выбираются в соответствии с поведением, которое требуется привить работникам, хорошими практиками и накопленным опытом (рис. 23).

Примеры инструментов, представленные в этой статье, предназначены для промышленности, для которой характерна высокая степень риска. Культуру безопасности, как и культуру в целом тяжело оценить. Однако в ряде отраслей с высокой степенью риска, оценка культуры безопасности проводится на регулярной основе несколько раз в год и, как правило, делится на 2 части: анонимная самооценка работников и оценка третьей стороной, как правило специализированной компанией, которая использует сложные методы и инструменты и методы для измерения различных критериев культуры безопасности.

На сегодняшний день наука о культуре безопасности хорошо развита в таких отраслях как авиация, ядерная и космическая промышленность. Применение этих знаний в электросетях обеспечит дополнительную синергию для общей защиты, снижения негативных тенденций и операционных рисков, учитывая тот факт, что человеческий фактор является самой весомой причиной возникновения критических ситуаций в промышленности.

## Литература.

Corcoran, W., (2010). Safety Culture — Back to the Basics, PhD Thesis, 2010

Reason, J., (1998). Achieving a safe culture: theory and practice. *Work and Stress*, 1998, vol.12, No.3, 3 293-306

Schein, Edgar H., *Organizational Culture and Leadership* (1985). University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1496184>

## 1.8. Устойчивость электрической сети при изменении климата.

**Мартин Кониг (Martin König),**

Отдел оценки воздействия на окружающую среду и изменения климата, Агентства по окружающей среде, Австрия

### Введение.

Инфраструктура электроэнергетической сети является сильно уязвимой от погодных и климатических явлений и в силу единого процесса передачи может характеризоваться как сумма всех погодных условий в определенном месте. Граничная линия инфраструктуры передачи и распределения электроэнергии является также критической, так как повреждение в одном месте может привести к сбоям во всей сети. В последние годы несколько проектов Австрийского агентства по окружающей среде (Austrian Environment Agency) показали, насколько уязвима сетевая инфраструктура к последствиям изменения климата и насколько важно принимать меры для повышения её устойчивости.

В то время, как сокращение выбросов парниковых газов было в центре внимания борьбы с изменением климата в течение нескольких десятилетий, политика адаптации является новым, но жизненно важным подходом, призванным к преодолению трудностей с последствиями изменения климата. Действительно, различные исследования показывают, что изменение климата оказывает значительное воздей-

ствии на энергетический сектор и подчеркивают необходимость адаптации в секторе (Радемайкерс (Rademaekers) и др 2011; Эбингер (Ebinger) и Вергара (Vergara) 2011; Вильямсон (Williamson) и др 2009). Последствия изменения климата, такие как увеличение частоты экстремальных погодных явлений или изменение температуры воды и воздуха, влияют на спрос на электроэнергию, её поставку и передачу. Поэтому адаптацию следует рассматривать на этапах планирования и эксплуатации электроэнергетических систем на всех территориальных уровнях, от местного до общеевропейского. Адаптация не обязательно является отдельным направлением деятельности, данная процедура может актуализировать существующую энергетическую политику, например, в области внутреннего энергетического рынка, ТЕН-Е / СЕЕ, энергетических дорожных карт, политики в области энергоэффективности, а также по другим направлениям, которые стали важными в этой области в Европейском союзе (см Стратегический план технологий энергетики и Smart Grid инициатива). Кроме того, СО должны учитывать фактор (изменение) климатических параметров в своих планах обеспечения надёжности сети.

Большое количество мер и политика по уменьшению выбросов парниковых газов имеют потенциал в главных направлениях адаптации, то есть, для поддержания / повышения надёжности поставок электроэнергии. Здесь имеются в виду меры не только в секторе потребления электроэнергии, но и те, которые связаны с развитием возобновляемой энергетики, таких как диверсификация поставок энергоносителей для снижения импорта энергоносителей из политически нестабильных регионов и децентрализации производства электроэнергии. Важно подчеркнуть, что усилия по предотвращению изменения климата иногда идут рядом с адаптацией с точки зрения повышения устойчивости. Например, сокращение пиков спроса в летнее время снижает риск отказов в электросети из-за перегрузок и так называемых искровых перекрытий (высоковольтных разрядов, вызванных молнией). Эта концепция дальнейшего развития приведена в справочном докладе для Европейской адаптационной стратегии (МакКалум (McCallum) и др. 2013). В целом, изменение климата и изменение характера экстремальных погодных явлений и периодов их проявления оказывают значительное негативное влияние на европейскую инфраструктуру, которая была построена 50-60 лет назад, и на энергетический рынок, который находится на достаточно развитом уровне и вынуждает транснациональные сети работать с высокой нагрузкой.

### Уязвимость сетевой инфраструктуры.

Электроэнергетическая сетевая инфраструктура непосредственно подвергается воздействию экстремальными погодными условиями. Воздушные линии, подстанции и трансформаторы находятся под угрозой штормов (сильный ветер, см рис. 24), обледенения (см рис. 25), мокрого снега, молний, наводнений и массивных воздействий таких как снежные лавины, оползни и камнепады.



Рис. 24. Повреждение энерголиниям электропередачи порывом ветра.

Источник: FF Güssing, [www.feuerwehren.at](http://www.feuerwehren.at)

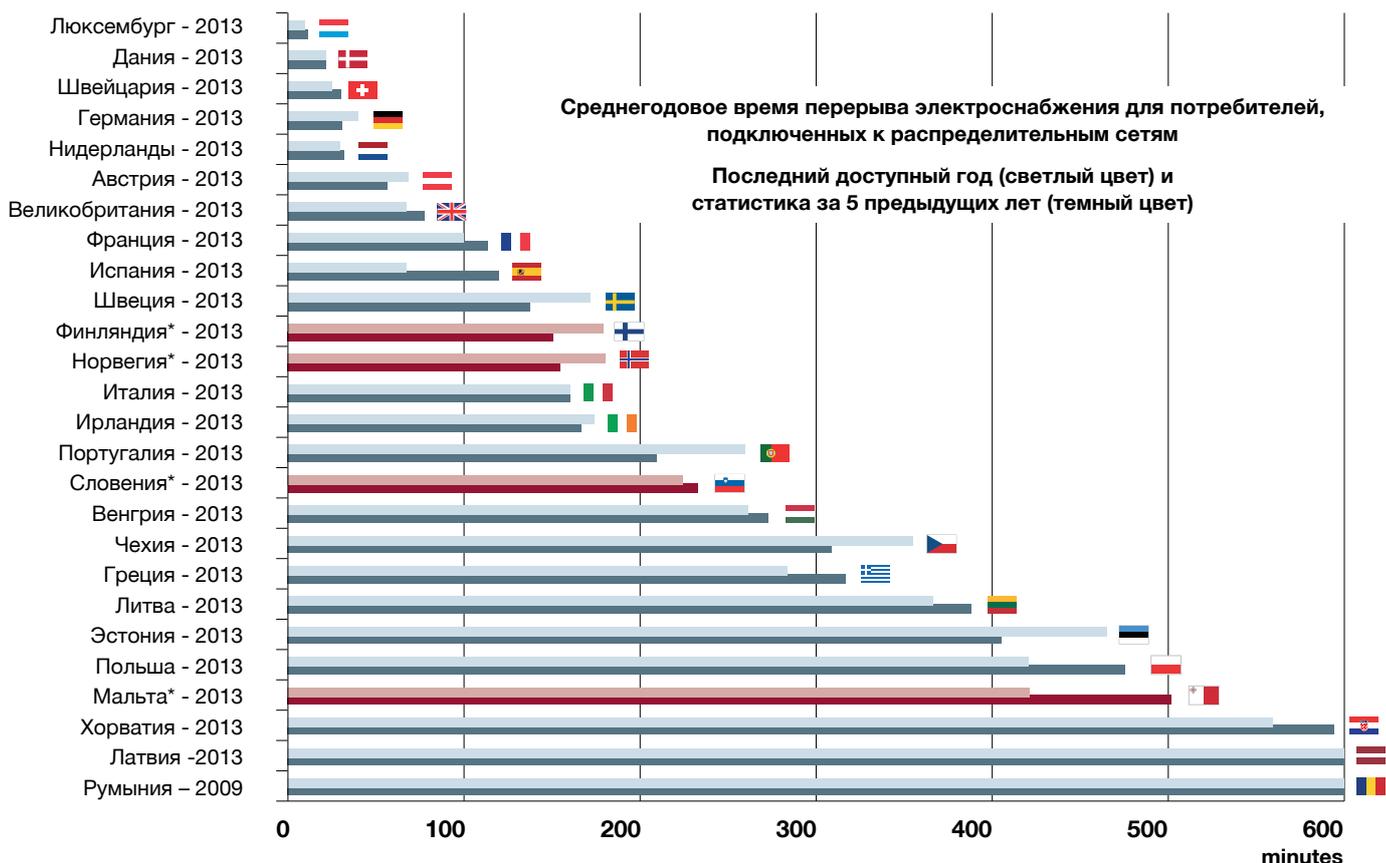


Рис. 25. Обледенения, повредившие линии электропередачи в Каринции, Австрия, в зимний период 2014 года.

Источник: KELAG

Тепловые волны также являются стрессовым фактором для сетей передачи и распределения. Для сетей передачи они представляют собой косвенный фактор стресса, поскольку использование кондиционирования воздуха создает повышенный спрос / нагрузку, что приводит к более высокому риску искрения, для сетей распределения тепловые волны являются прямым фактором стресса из-за нагрева кабелей – особенно для подземных (городских) кабелей.

Однако, не имеется четких доказательств корреляции между ними и системными авариями. Об этом свидетельствуют с одной стороны значения показателя среднего прерывания электроснабжения потребителей (CAIDI; для 16 европейских стран в 2004/2005) (рис. 26), и повышение температуры, засухи, или увеличение частоты экстремальных явлений, с другой стороны. Таким образом, мы все еще не в состоянии в полной мере оценивать влияние изменения климата на надёжность электроснабжения. Однако, текущие данные регуляторов электроэнергетики показывают высокую долю связанных с погодными условиями отключений и даже системных аварий.



**Согласованный общий SAIDI: Среднее время годового перерыва электроснабжения потребителей низкого напряжения, учитывались все перерывы.**

- Последний доступный год (указан рядом с названием страны)
- Среднее за пять последних лет (только для доступных лет)

**Несогласованное среднегодовое время перерыва, считались все перерывы**  
*Перерывы, произошедшие из-за инцидентов в сетях низкого напряжения, не учитывались, или среднее время годовых перерывов с учетом потребителей среднего напряжения и взвешенные по среднему потреблению*

**Латвия:** 621 минута в 2013 г, 834 минуты в среднем за 5 лет  
**Румыния:** 1005 минут в 2009 г.

→ Скорее всего, недооценивается по сравнению с «согласованным общим SAIDI», примерно на 5-20%.

- Последний доступный год (указан рядом с названием страны)
- Среднее за пять последних лет (только для доступных лет)

**Рис. 26.** Среднее число минут без электричества на человека (на основе индекса SAIDI, т.е. среднее время простоя на человека). Обратите внимание, что исключительные погодные явления и планируемые (технические) перерывы, а также прерывания, составляющие менее 3 минут, не рассматриваются для индекса SAIDI.

Источник: CEER (2015)

Несколько основных примеров связи погодных условий с системными авариями:

- Системная авария в сентябре 2003 года в Италии, вызванная искровым перекрытием из-за деревьев на сильно перегруженных линиях электропередачи высокого напряжения Lukmanier и San Bernardino во время шторма и высокого спроса на электроэнергию для работы кондиционеров<sup>10</sup>.
- Системные аварии в Швеции в сентябре 2003 года и январе 2005 года, из-за серии дождевых штормов, которые вызвали отключения 3,5 млн. и 400 тыс. человек, соответственно.
- Системная авария в Германии в ноябре 2005 года, вызванная мокрым снегом, без электроэнергии остались около 250 тыс. человек в регионе Münster<sup>11</sup>.

10 Cf. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/3146136.stm> and SFOE (2003) для большей детализации

11 Cf. [http://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_historischer\\_Stromausf%C3%A4lle](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_historischer_Stromausf%C3%A4lle) и [http://news.xinhuanet.com/english2010/world/2010-03/15/c\\_13211267.htm](http://news.xinhuanet.com/english2010/world/2010-03/15/c_13211267.htm)

Таблица 8: Влияние климатических рисков на транспортировку и передачу электроэнергии

Тип	Стихийное бедствие	Риск	Время ожидаемого влияния	Зона охвата
Повреждения линий электропередач	Чрезвычайно высокая температура	Снижение пропускной способности электросетей	Среднее негативное (2025) до экстремального негативного (2050)	Вся территория Евросоюза
	Обледенение, снегопад	Увеличение шансов повреждения электросетей и возможности прекращения подачи электричества	В среднем негативное (2050)	Норвегия и Евросоюз
	Осадки в виде дождя	Оползни вызывающие повреждения	Неопределенная	Особенно в горных районах
Косвенное влияние на линии электропередач	Высокая температура	Повышение уровня спроса на электроэнергию в летнее время, повышение потребления электроэнергии для охлаждения продукции	Негативное в среднесрочной перспективе	Вся территория Евросоюза
	Засухи	Низкое потребление электроэнергии для отопления зимой	Положительное (Dolinar et al. 2010, Mirasgedis et al. 2007, Christenson et al. 2006)	Южная и Восточная Европа
	Засухи	Высокий уровень потребления для орошения	Негативное	

Источник: Кёниг в Альфатер и др. (König in Altvater et al.) (2011)

Также многочисленные мелкие отключения электроэнергии, показывают, насколько электрические сети уязвимы к погодным и экстремальным климатическим явлениям. Масштабные отключения в 2003 году в Италии показали, как повышение спроса на электроэнергию из-за аномальной жары и суровые погодные условия могут усилить влияние и привести к весьма неблагоприятным последствиям. На самом деле, рассматриваемое событие представляет предупреждающий знак, что в случае жаркого лета возможно появление угроз и уязвимостей по всей Европе.

Особое внимание следует уделить тому факту, что линии электропередачи, работающие на пределе своих возможностей, более уязвимы к искровым перекрытиям от деревьев. Существует, таким образом, корреляция между пониженной пропускной способностью сети из-за погоды и климата<sup>12</sup> и возникновением отключений.<sup>13</sup>

12 Cf. NatCat Service data from MunichRe at for example: [http://www.munichre.com/app\\_pages/www/@res/pdf/NatCatService/great\\_natural\\_catastrophes/NatCatSERVICE\\_Great\\_1950\\_2011\\_losses\\_weather\\_de.pdf](http://www.munichre.com/app_pages/www/@res/pdf/NatCatService/great_natural_catastrophes/NatCatSERVICE_Great_1950_2011_losses_weather_de.pdf)

13 Cf. CEER (2008) at [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Electricity/2008/C08-EQS-24-04\\_4th%20Benchmarking%20Report%20EQS\\_10-Dec-2008\\_re.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/2008/C08-EQS-24-04_4th%20Benchmarking%20Report%20EQS_10-Dec-2008_re.pdf)

В принципе, всё европейское население может ожидать негативных эффектов от системных аварий, в частности, из-за каскадных эффектов. На самом деле, сравнение стран по показателю средней продолжительности отключения электроэнергии на потребителя в минутах в год, как показано на рис. 26, указывает на различие в уязвимости электросетей по всей Европе.

### Диспетчеризация на региональном уровне.

В результате расхождений между эксплуатацией городской, сельской и более масштабной передачей и распределением электроэнергии высокого напряжения в (удаленных) регионах возникают различные региональные уязвимости. По собранным качественным данным большинство городов по всей Европе использует подземные кабели, как распределительную инфраструктуру для передачи и распределения электроэнергии. Вот почему, например, Wien Energie<sup>14</sup> (основной поставщик энергии в Вене и оператор распределительной сети [DSO]), которая имеет 83% доли кабельных линий от общей протяженности распределительных сетей,

14 [www.wienenergie.at](http://www.wienenergie.at)

может характеризоваться как устойчивая к климатическим воздействиям, по крайней мере, с точки зрения инфраструктуры распределения. Городские тепловые волны являются проблемой - особенно для подземных кабелей под темными поверхностями с низкой отражательной способностью, в таких местах как тротуары (которые нагреваются быстро из-за низких отражающих свойств). Однако, подстанции и трансформаторы по-прежнему подвергаются воздействию экстремальных погодных и климатических явлений и могут отказать, так как соединены с воздушными линиями электропередачи.

Различия в уязвимости между надземными и подземными кабелями сводятся к тому, что подземные кабели являются сами по себе защищенными от прямых метеорологических воздействий, таких как мокрый снег, обледенения и шторма. Тем не менее, в городских районах сильная жара остаётся фактором риска, как и массивные движения (особенно оползни) в горной местности.

DSO играют важную роль в разработке устойчивых структур сети, так как они являются наиболее уязвимыми по отношению к экстремальным погодным явлениям, таким как ветер, снег и ледяная нагрузка; это происходит потому что их инфраструктура – особенно воздушных линий среднего и низкого напряжения, наиболее уязвимы, например, для Финляндии (см Мартикайнен (Martikainen) 2007 и др.). Тем не менее, крупные производители электроэнергии владеют большими долями распределительной сети - либо непосредственно, либо через дочерние компании.

Уязвимость является функцией воздействия (на сетевую инфраструктуру погодных влияний), его чувствительности (т.е., его физической силы), и производительности (операторов сети) для адаптации или борьбы с метеорологическими / климатологическими проблемами. Таким образом, региональные последствия зависят от числа компонентов и физической силы сетевой инфраструктуры (в том числе опор линий электропередачи, конфигурации линии электропередачи, трансформаторов, подстанций и т.д.); потенциальная метеорологическая опасность (например, восприимчивость к бурям, массивным движениям, обледенения, мокрому снегу и т.д.); и числа домохозяйств и компаний, которые зависят от инфраструктуры, необходимой для их электропитания. Соответствующие слои показаны на рис. 27.

**Австрийский пример: Национальные стратегии в области изменения климата в качестве мер реагирования на изменение климата.**

Электроэнергия и система устойчивости были включены в несколько стратегий по адаптации к изменению национального климата. В австрийской стратегии адаптации некоторые меры в энергетическом / электроэнергетическом секторе фокусируются на сетевом секторе. Такие как:

- оптимизация сетевой инфраструктуры для избежания узких мест и избыточных мощностей;

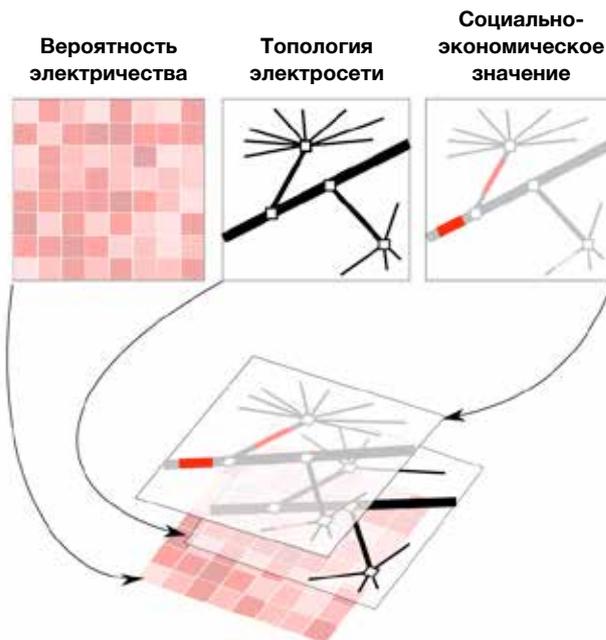


Рис. 27. Параметры повреждения (например, шторма), топология сети и число / тип домохозяйств и компаний, определяющих уязвимость сетевой инфраструктуры и последствия отказа.

Источник: Оффентхалер (Offenthaler), 2015

- развитие и продвижение децентрализованного производства энергии и энергоснабжения;
- адаптация системы планирования для сети передачи и распределения;
- снижение спроса на энергию, особенно пиковых нагрузок (BMLFUW 2012).

Меры по повышению устойчивости инфраструктуры сети передачи / распределения могут быть классифицированы следующим образом на 1) технические меры; 2) меры по стандартам и правилам; 3) наращивание потенциала; 4) коммуникации и повышение информированности; 5) руководящие принципы и 6) схемы финансирования ЕС (McCallum (McCallum) и др 2013.)

## 1. Технические меры.

1. Создание сети, устойчивой к климатическим воздействиям (мера 13-15) **Передача:** Установка дополнительных сетевых мощностей с особым акцентом на страны и регионы с высоким потенциалом и будущей зависимостью от возобновляемых источников энергии. Эта мера относится к Smart Grid, которые уже были реализованы (например, EDSO-SG), но приняты во внимание угрозы изменения климата для надёжного электроснабжения через ступенчатую реализацию целей использования возобновляемых источников энергии.

**Передача:** Установка дополнительных сетевых мощностей в странах и регионах с потенциалом хранения энергии. Например, в настоящее время они существуют в Норвегии только в виде ГАЭС (см. ENTSO E 2010). Тем не менее, гидроаккумулирующие станции имеют самую высокую эффективность.

**Распределение:** Активное использование электрической сети железных дорог для дальнейшей централизации распределения и передачи электроэнергии по сети (мера 12). Эта мера позволит осуществлять экономически эффективную поддержку дополнительных срочно необходимых мощностей распределения при использовании небольших объектов для децентрализованного электроснабжения.

**2. Передача:** Обнаружение «горячих» точек уязвимости (Williamson и др. 2009), например, в воздушных сетях (меры 16 и 18) предупредительный мониторинг массивов движущихся объектов, штормов, наводнений и перегрева (мера 10).

**3. Передача:** Прокладка подземных кабелей в «горячих» точках уязвимости, которые являются дорогостоящими. Согласно проведенным исследованиям, затраты могут превышать в десятки раз затраты на обычную воздушную линию электропередачи; проводимость подземных кабелей также ограничена из-за быстрого нагрева и необходимых дополнительных средств охлаждения.

**4. Передача:** Расширение просек до необходимых размеров, которое является спорным, но в некоторых штормовых районах возможно неизбежным.

**5. Передача/распределение.** В зависимости от сферы применения, мера укрепления устойчивости склонов, таких как защитные леса или технические меры, определяемые на месте.

**Передача/распределение:** Настройка системы раннего предупреждения (Виллиамсон (Williamson) и др. 2009 г; Эбингер (Ebinger) и Вергара (Vergara) 2011 г.). Для кратковременных отклонений энергии.

Высокий спрос, например, во время сильной жары или похолоданий приводит к перегреву сети из-за чрезмерной загрузки. Экстремальные события, такие как ураганы, обледенения, град, или периоды засухи, в сочетании с низкой выработкой электроэнергии на гидростанциях и ветровых станциях, а также тепловые волны ведут к перегреву кабелей из-за высоких температур (мера 16).

#### **Аккумуляция:**

7. Установка новых объектов аккумуляции энергии, таких как гидроаккумулирующие станции, особенно в регионах с переменной базовой нагрузкой (Ибрагим (Ibrahim) и др. 2008).

8. Исследование потенциала других методов хранения, например, хранение водорода ( $H_2$ ) или метана ( $CH_4$ ), которые могут быть развиты параллельно с увеличением доли возобновляемых источников энергии (Ибрагим (Ibrahim) и др. 2008, URS 2010).

9. Среднесрочные: использование и поддержание существующей сети распределения и хранения газа  $CH_4$ , как только процесс SABATIER («солнечного топлива» или других биохимических методов) достигнет промышленного применения

/ реализуемости. (В настоящее время данные исследования быстро прогрессируют, появляются новые методы электролиза и выработки из  $H_2$   $CH_4$ ).

## **2. Стандартизации и регулирования.**

### **Передача:**

10. Более требовательные стандарты для воздушных линий электропередачи в соответствии с растущими требованиями при изменении климата, такими как повышение температуры, а также потребности в электроэнергии, ведущие к перегреву (мера 2.d).

11. Empower ACER (Агентство по сотрудничеству европейских регуляторов) производит разделение сетей распределения и передачи, развитие конкуренции между операторами передающих сетей, ведущее к усилению потока инвестиций в распределительную и передающую сеть. Большинство из этих мер должны финансироваться за счет поставщиков электроэнергии / CO и не должны быть предметом государственных расходов, возможно только софинансирование в мерах 21-23.

12. Применение стандартов по передаче электрической энергии для дальнейшей электрификации железнодорожных сетей, которые будут использоваться для децентрализованного распределения электроэнергии (мера 1.c)

## **3. Строительство мощностей (меры 1-6).**

**13. Передача:** Усиленное сотрудничество европейских операторов передающей сети через ENTSO-E (по поручению директивы рынка внутренней энергии 2009/72 / EC) для климат-защиты передающей сети.

**14. Передача:** Усиление кооперации ENTSO-E и малых компаний по производству электроэнергии делает передающую сеть более устойчивой к природным опасностям путем лучшего соединения децентрализованных источников выработки электроэнергии.

**15. Передача/распределение:** Повышение уровня кооперации между European Electricity Grid Initiative (EEGI), EDSO-SG (European DSO Association for smart grids), grids R&D Roadmap 2010-2018 и ENTSO-E's R&D в направлении решений по европейской Smart Grid, являются полезными не только для решения вопросов по оптимизации спроса и предложения, но и возможностью для аварийных переключений («обходных путей для передачи») сети в случае локальных / региональных аварий, вызванных метеорологическими экстремальными явлениями.

## **4. Коммуникации / повышение осведомленности.**

**16. Передача/распределение:** Представление информации, такой как карты влияния / уязвимости и примеры передовой практики (Эбингер (Ebinger) и Вергара (Vergara) 2011), а также легкий доступ к информации ENTSO, EDSO и всех производителей энергии (например, связь результатов на-

учно-исследовательских проектов, таких как Aeolus для производителей ветряной энергии) (мера 2)

17. **Передача/распределение:** Забота в целях адаптации, которую необходимо принимать во внимание при дальнейшей интеграции (Эбингер (Ebinger) и Вергара (Vergara) 2011) национальных сетей в общеевропейскую сеть, то есть основной поток адаптации в дальнейшей работе ENTSO, EDSO, ACER, EEGI и выполнение SET плана

## 5. Методические рекомендации.

18. **Передача/распределение:** Разработка контрольных списков и руководств для СО и ДСО по оценке уязвимости и вариантов возможной адаптации (мера 2)

19. **Передача/распределение:** Разработка руководящих принципов для создания систем раннего предупреждения общеевропейских энергообъединений (мера 6)

## 6. Общеευропейские финансовые схемы.

20. Увеличение объема финансирования в рамках схем финансирования ЕС RTD, самое главное мероприятие для следующих целей:

**Аккумуляция:** системы и методы аккумуляции электроэнергии

**Передача:** Новые материалы для передающих кабелей

**Передача/распределение:** Новые Smart grids модели управления спросом, системное управление после аварий и большая доля возобновляемых источников энергии

21. **Передача:** Использование рыночных механизмов, таких как схемы снижения налогов, с целью создания стимулов для СО инвестировать в дополнительные сетевые мощности для защиты от климатических изменений. Это является классической беспроигрышной мерой, так как эти инвестиции должны быть сделаны в любом случае.

22 **Передача/распределение:** Используя ресурсы Инвестиционного банка европейской комиссии (ЕИВ) инициировать «Инициативу в области устойчивой энергетики ЕС. Финансирование и фонд прямых инвестиций Marguerite (во главе с ЕИВ) по учету адаптации в финансируемых проектах.

23 **Передача:** Использование Фонда сплоченности ЕС для поддержки крупномасштабных проектов по адаптации энергии.

## Заключение.

Повышение устойчивости инфраструктуры сети электроснабжения - в особенности распределительной сети - является основной задачей для собственников инфраструктуры. Особое внимание следует уделить приватизированным сетям и необходимости увеличения инвестиций в инфра-

структуру передачи электроэнергии, чтобы сделать её более устойчивой к последствиям изменения климата.

Эти инвестиции необходимы как компенсации метеорологических отказов и системных аварий, поскольку их значимость и частота будут увеличиваться в будущем. А экономические издержки от перерывов электроснабжения являются чрезвычайно высокими.

## Литература.

BMLFUW (2012): The Austrian Strategy for Adaptation to Climate Change. Vienna. [https://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik\\_national/anpassungsstrategie/strategie-kontext.html](https://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/anpassungsstrategie/strategie-kontext.html)

CEER (2015): CEER benchmarking report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply. Data update. Brussels.

McCallum S., Dworak T., Prutsch A., Kent N., Mysiak J., Bosello F., Klostermann J., Dlugolecki A., Williams E., König M., Leitner M., Miller K., Harley M., Smithers R., Berglund M., Glas N.,

Romanovska L., van de Sandt K., Bachschmidt R., Völler S., Horrocks L. (2013): Support to the development of the EU Strategy for Adaptation to Climate Change: Background report to the Impact Assessment, Part I – Problem definition, policy context and assessment of policy options. Environment Agency Austria, Vienna. [http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/background\\_report\\_part1\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/background_report_part1_en.pdf)

Ebinger, J. & Vergara, W. (2011): Climate Impacts on Energy Systems. Key issues for energy sector adaptation. World Bank study. Washington. ([http://www.esmap.org/esmap/sites/esmap.org/files/EBook\\_Climate%20Impacts%20on%20Energy%20Systems..pdf](http://www.esmap.org/esmap/sites/esmap.org/files/EBook_Climate%20Impacts%20on%20Energy%20Systems..pdf))

ENTSO-E (2010): Pilot Ten Year Network Development Plan. <https://www.entsoe.eu/system-development/tyndp-2010/>

Ibrahim, H.; Ilinca, A. & Perron, J. (2008). Energy storage systems—characteristics and comparisons. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12: 1221–1250.

Martikainen, A., Pykälä, M.L., Farin J. (2007): Recognizing climate change in electricity network design and construction. VTT Research Notes 2419. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2419.pdf>

Rademaekers, K. et al. (2011): Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change. Final report. Published by European Commission. Brussels. ([http://ec.europa.eu/energy/nuclear/studies/doc/2011\\_03\\_eur24769-en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/studies/doc/2011_03_eur24769-en.pdf))

URS (2010) Adapting Energy, Transport and Water Infrastructure to the long-term impacts of climate change. Ref. No RMP/5456. (<http://archive.defra.gov.uk/environment/climate/documents/infrastructurefull-report.pdf>)

Williamson, L.E.; Connor, H. & Moezzi, M. (2009): Climate-proofing Energy Systems. ([www.helio-international.org](http://www.helio-international.org)).

Williamson, L.E.; Connor, H. & Moezzi, M. (2009): Climate-proofing Energy Systems. ([www.helio-international.org](http://www.helio-international.org)).



## Глава 2

# Примеры катастроф и системного аварийного отключения электроэнергии

Глава 2 содержит информацию об исследованиях различных ситуаций тотального отключения электроэнергии в Европе, таких странах как Италия, Швейцария, Швеция, Норвегия, Германия, Франция, Сербия, Босния и Герцеговина, Хорватия, Словения, а также примеры из Китая. Особый информационный вклад в данную главу был внесен Международным Институтом Прикладного Системного Анализа (МИПСА, ПАСА), Швейцарской высшей технической школой Цюриха, Электро Любляна, Словения, Секретариатом Энергетического Сообщества, Электрической транспортной сетью (ЭТС), Программой связи Франции, человека и окружающей среды, а также негосударственные организации из США и Китая.

### 2.1. Три системный аварийных отключения: в 2003 году в Италии и Швейцарии, а также в Швеции и Дании, и в Германии в 2006 году

**Надежда Комендантова**  
(Nadejda Komendantova)

Международный Институт Прикладного Системного Анализа и Высшая техническая школа Цюриха (ETH Zurich)

#### Введение.

Недавние перебои в подаче электроэнергии в ряде Европейских стран позволили выявить множество опасных уязвимостей в сетях передачи электроэнергии, в частности случаи, когда одновременно происходят сразу несколько отказов в энергосистеме, которые приводят к крупным авариям. Эта глава рассматривает три исторических случая отключения электроэнергии в Европе, к ним относятся: отключение электроэнергии в 2003 году, произошедшее в Италии и Швейцарии, а также произошедший в том же году перебой электроснабжения в Швеции и Дании, и отключе-

ние, произошедшее в 2006 году в Германии. Оценка данных ситуационных исследований иллюстрирует влияние различных факторов, которые в настоящее время оказывают действие на уровень уязвимости сетей передачи электроэнергии в Европе. Она также показывает потребность в подходе, основанном на множественных рисках, к построению устойчивости инфраструктуры передачи электроэнергии и для устранения системных проблем, которые влияют на инфраструктуру передачи электроэнергии.

#### Предпосылки.

В 2011 году Европейская комиссия опубликовала дорожную карту, цель которой было определить пути уменьшения выбросов парниковых газов при производстве электроэнергии, по меньшей мере на 80% к 2050 году, в основном за счет расширения масштабов производства возобновляемой энергии (СОМ, 2011). В рамках политики ЕС 2030, в области изменения климата и энергетики предусматривается увеличение доли возобновляемых источников энергии, по меньшей мере на 27% (СОМ, 2014). Учитывая, что большая часть энергии, вырабатываемой за счет возобновляемых источников потребляется и передается в виде электроэнергии, еще одной целью этой политики является увеличение важности сетей передачи электроэнергии, как одного из основных жизненно важных элементов энергетической инфраструктуры. Кроме того, стратегия Европейского Энергетического союза 2020 определяет развитие сетей как ключевой фактор для дальнейшего развития возобновляемых источников энергии.

Тем не менее, достижение целевых показателей использования возобновляемых источников энергии, таких как декарбонизация производства электроэнергии в данном секторе к 2050 году, потребует существенных изменений в качестве и развернутости сетевой инфраструктуры, в том числе увеличении числа межгосударственных межсистемных связей, строительство сетей передачи электроэнергии на большие расстояния, более плотная схема сетей, подключенных к объектам распределенной генерации и развитие технологий Smart Grid для управления различными вариантами энергоснабжения. Достижение поставленных целей 2030 года также требует обеспечения надежности передачи электроэнергии.

Уже в 2008 году Европейский Совет подчеркивает растущую необходимость защиты важнейших объектов инфраструктуры, в том числе сетей передачи электроэнергии от многочисленных опасностей (Директива 2008/114/ЕС). Текущая защита сетей включает в себя предотвращение отключений и минимизацию последствий отключений и находится в национальной собственности государств, в том числе владельцев или операторов инфраструктуры, несущих основную ответственность за обеспечение надёжности электроснабжения (Директива 2008/114 / ЕС). В 2009 году Европейская комиссия установила общие критерии для предупреждения стихийных бедствий и минимизации их последствий, а также выступила за разработку национальной политики, основанной на опыте ликвидации последствий стихийных бедствий, в том числе таких этапов, как предотвращение, готовность к стихийным бедствиям, реагирование и восстановление после произошедшего. Европейская комиссия также подчеркивает полезность подхода на основе множественных опасностей для предотвращения бедствий (СОМ, 2010). В процессе работы, направленной на снижение уровня уязвимости инфраструктуры Европейского Союза от множества опасных природных явлений, таких как землетрясения, наводнения, засухи, ураганы, аномальная жара, обледенение, пожары и другие бедствия, которые не только наносят ущерб инфраструктуре и ее элементам, но также снижают возможность передачи электроэнергии, ООН говорит о необходимости укрепления оценки множественных рисков, «исследуемые методы и инструменты для оценки множественных факторов риска следует доработать и улучшить» (ООН, 2005; ООН 2013).

### Методология: исследование трёх ситуаций тотального отключения электроэнергии.

Отключение электроэнергии в 2003 году, которое началось в Швейцарии, а затем поразило Италию, оставило 56 миллионов людей без электроэнергии. Это отключение было вызвано каскадным эффектом нескольких отказов и сбоев. Например, перегрузка линии напряжением 380 кВ между Метленом и Лаворго привела к сильному перегреву сети, которая задела расположенные вблизи деревья, что в свою очередь вызвало искровое перекрытие изоляции. Дальнейший отказ линии между Метленом и Лаворго привел к увеличению нагрузки линии Сильс-Соса, также рассчитанной на напряжение 380 кВ. В данном случае сработал «эффект домино» от Швейцарии к Италии, в рамках которого была выведена из синхронизации вся итальянская система, использовавшаяся в рамках Союза Сотрудничества Передачи Электроэнергии (ССПЭ), что и привело к отключению электроэнергии в Италии продолжительностью до 16 часов.

От еще одного отключения электроэнергии, которое произошло в том же году, пострадало 1,6 миллиона человек в Швеции и 2,4 миллиона человек в Дании. Оно привело к серьезным отключениям нагрузки, порядка 4700 МВт в Швеции и 1850 МВт в Дании. Это было самое серьезное нарушение в системе «Nordic Power» («Североевропейская

мощность») за последние 20 лет. Системная авария была вызвана совпадением нескольких опасных ситуаций, что в свою очередь сильно увеличило нагрузку на систему передачи электроэнергии. До произошедшей аварии для работ по проведению технического ремонта были выведены две линии напряжением 400 кВ каждая, а также высоковольтная линия между Польшей и Германией. Обрыв двух электрических шин привел к остановке двух атомных энергоблоков общей мощностью 1750 МВт, в следствие чего сеть потеряла свою пропускную способность вдоль западного побережья, при этом сильно увеличилась нагрузка сети в остальных странах Юго-Восточной и Южно-Центральной частей. В то же время потребность в электроэнергии восстановилась, что и стало причиной снижения напряжения до 400 кВ, которое закончилось падением напряжения в юго-западной части сети, недалеко от Стокгольма. Вслед за этим, южная часть сети между Швецией и восточной Данией, которая оставалась связанной между собой, была перегружена из-за сильного недостатка генерации. Остальные источники генерации в Дании не смогли увеличить мощность, чтобы удовлетворить спрос и в течение нескольких секунд частота и напряжение сети снизилась, после чего вся подсистема отказала. Основной причиной этого отключения электроэнергии были серьезные неисправности сети, такие как повреждение сдвоенной шины, которые привели к остановке двух атомных энергоблоков и снижению пропускной способности, произошедшее в течении пары минут после обычной аварии и приведшее к потере целого блока генерации на 1250 МВт. Вероятность такого совпадения очень мала, однако она показывает необходимость в стандартах надёжности сети включать события, выходящие за рамки n-1 (Ларссон (Larsson) и Ек (Ek), 2003).

Отключение энергоснабжения 2006 года в Германии длилось до двух часов. Это была крупнейшая системная авария, затронувшая более 15 миллионов человек. Отключение было каскадным и повлияло на жителей Польши, а также стран Бенилюкса - Франции, Португалии, Испании, Греции, Балкан и даже Марокко.

Немецкому объединению СО E.ON Netz пришлось отключить высоковольтную линию, чтобы позволить судну пройти под ней. Одновременно с этим, ветряками было выработано большое количество электроэнергии, которое от ветровых агрегатов передавалось в сети Западной и Южной Европы. Недостаточная осведомленность структурных подразделений операторов об отключении высоковольтной линии, привела к нестабильной частоте в сети и перегрузке линии. Автоматические устройства должны были отключить потребителей от сети в пострадавших странах. Это было необходимо, чтобы автоматически справиться с нехваткой энергии в западной зоне. В результате расследования, проведенного Союзом Координации Передачи Электроэнергии (СКПЭ), было выявлено 3 фактора, поразивших уязвимые места сети. В первую очередь это отсутствие средств надёжности со стороны оператора сети передачи электроэнергии, которые проводят проверку того, что система работает в надёжных пределах. Во-вторых, отсутствовала информационная связь между европейскими СО, которые не получали

информацию о действиях оператора немецкой системы передачи. В-третьих, был серьезный недостаток инвестиций в надежность и эксплуатацию сети (СКПЭ, 2006).

### Результаты: факторы, влияющие на уязвимость электрических передающих сетей.

Исследование трёх вышеупомянутых ситуаций позволило выявить следующие факторы, влияющие на уязвимые места сетей передачи электроэнергии: новые требования к электроэнергетической инфраструктуре в Европе, текущее состояние инфраструктуры, барьеры для модернизации инфраструктуры и повышения ее потенциала, существующие взаимозависимости между различными системами передачи электроэнергии и существующими и возникающими многочисленными рискованными ситуациями.

За последние 10 лет, мировой объем возобновляемых источников энергии вырос на 85% и в 2013 году достиг 1700 ГВт, что составило свыше 30% от всей установленной мощности (IRENA, 2014). Существующая в настоящее время европейская система передачи электроэнергии была разработана около полувека назад с целью интеграции электроэнергии, вырабатываемой вблизи крупных центров потребления, в основном с крупномасштабной эксплуатацией ископаемых видов топлива. В настоящее время требования к сети меняются и включают в себя необходимость учета растущих объемов возобновляемой энергии, которая находится в различных географических районах, а также часто в районах с низкой плотностью населения и низким уровнем потребления. Генерация возобновляемой энергии создает новые проблемы для сетей передачи электроэнергии, например, разница в пиковых нагрузках для потребителей и генерирующих единиц, необходимость в адекватной инфраструктуре для возможности интеграции возобновляемых источников энергии с варьирующимися значениями на выходах, несбалансированные изменения в потребительской и генерирующей частях. Так называемые силовые скачки, возникающие в результате прерывистой работы возобновляемых источников энергии, могут серьезно повлиять на электрические сети. Стабильность сети также бывает затронута в межсистемных зонах, которые были построены для обеспечения её стабильности, в том числе служащие регулятором резервов системы передачи электроэнергии. Развертывание возобновляемых источников энергии далеко от центров потребления требуется для того, чтобы сети имели возможность собирать и передавать электричество из различных источников. Если существующие и будущие гибкие и резервные блоки не будут расположены вблизи возобновляемых источников энергии и использовать те же энергосети, то потребность в увеличении количества линий передачи электроэнергии и необходимости использования более развитых систем Smart Grid повысится (Euroelectric, 2011).

Еще одной проблемой является текущее состояние сетей передачи электроэнергии, они попросту устарели. Возраст большинства сетей 30 – 40 лет, и несколько тысяч километров сетей нуждаются в обновлении или замене. Во многих

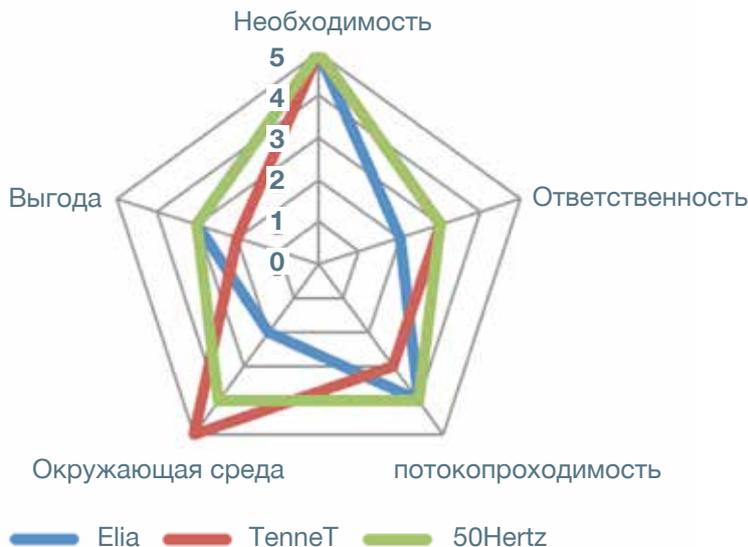


Рис. 28: Обзор проектов, соответствующие пяти руководящим принципам.

Источник: Комендантова и др., 2015

странах сети уже находятся на грани своих возможностей, и вызывает большое сомнение то, что эти сети смогут пропускать необходимые объемы энергии, которые постоянно растут, и генерируются благодаря возобновляемым источникам энергии (EWEA, 2010). Кроме того, трансграничные соединительные участки сетей также нуждаются в обновлении (Баттаглини (Battaglini) и др., 2012).

Европейская высоковольтная сеть передачи электроэнергии состоит из линий высокого и низкого напряжений. Насколько уязвимы такие сети зависит от взаимосвязей между различными системами, а также от потенциальной возможности выхода из строя сети за счет каскадного эффекта (Полянсек (Poljansek) и др., 2012). Интеграция возобновляемых источников энергии и электросетей, устойчивых к различным рискам, требует существенной модернизации существующих сетей, а также развертывание новых. Около 42000 километров линий электропередачи должны быть обновлены или достроены, что обеспечит интеграцию различных рынков, а также надёжность поставок электроэнергии и размещения источников возобновляемой энергии, расширение количества которых запланировано на 2020 год (ENTSO-E, 2010). Однако дальнейшее развертывание сетей передачи электроэнергии хранит в себе множество различных проблем, которые выходят за рамки технических и финансовых возможностей. Еще бы, ведь отсутствие регламентов и мероприятий по их утверждению является основным барьером для развертывания инфраструктуры сетей. Неспособность правильно решать признанные публичные и социальные проблемы могут быть причиной огромных задержек и даже отмены проектов. Например, в некоторых странах в течение последних 10 лет не было построено ни одной линии, напряжением выше 200 кВ (ETSO, 2006). Только в Германии до 2020 года должны быть построены 3600 км новых линий напряжением 380 кВ, однако, начиная с 2005 года были построены только 80 км новых сетей (DENA, 2012).



Рис. 29. Публичные информационные совещания в рамках проекта BESTGRID.

Источник: RGI, 2015

Одним из основных барьеров для дальнейшего строительства электросетей являются массовые протесты со стороны населения. Одной из основных целей проекта BESTGRID стало определить основные факторы, влияющие на поддержку или протесты со стороны населения. В результате проекта было определено, что жители населенных пунктов, которых затрагивают вопросы планирования инфраструктуры передачи электроэнергии, в первую очередь, сомневаются в необходимости таких проектов. Обзор пилотных проектов, реализуемых Elia, Tennent и 50Hertz в Германии и Бельгии показали, что наибольшее число респондентов согласны с надобностью предложенных проектов (рис. 28).

Целый ряд встреч, таких как круглые столы по информационным рынкам, которые мы разработали в рамках проекта BESTGRID, показал успешность действий, которые предоставили больше информации о потребности в проектах по передаче электроэнергии.

Особенно заинтересованные стороны оценили действия по предоставлению дополнительной информации в виде подробных карт с альтернативными коридорами, а также перспективой непосредственных переговоров с представителями компаний, которые реализуют проекты, и вовлечению местных неправительственных организаций в организации публичных информационных мероприятий.

### Обсуждение:

Как показали события с отключением электроэнергии в Италии, Швейцарии, Швеции, Дании и Германии, инфраструктура передачи электроэнергии – очень сложная взаимосвязанная система, в которой могут возникать ситуации, приводящие к рискам появления каскадных и межграницных аварий, затрагивающие несколько стран.

В настоящее время эта чрезвычайно сложная, комплексная система претерпевает изменения, которые могут повысить её сложность и уязвимость. Например, архитектура сети передачи электроэнергии меняется и сталкивается с нерегулярными возобновляемыми источниками электроэнергии, децентрализованной генерацией, двусторонними потоками электроэнергии, от производителя к потребителю и в об-

ратном направлении. Кроме этого, сеть становится объектом с многочисленными рисками, которые включают в себя уже существующие и известные риски, но также добавляются всё новые и новые риски.

Для оценки рисков всех этих факторов требуется пользоваться системным подходом и методом множественных рисков, которые будут учитывать объединенный и каскадный эффекты, позволят держать под контролем множественные риски, минимизировать их, а также управлять ими.

### Литература.

- Battaglini A, Komendantova N, Brtnik P, Patt A (2012). Perception of barriers for expansion of electricity grids in the European Union. *Energy Policy*, 47:254-259.
- COM (2014). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A policy framework for climate change and energy in the period from 2020 to 2030. Brussels, 2014.
- COM (2011). Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission staff working paper, European Union, Brussels, 2011.
- COM (2010). A Community approach on the prevention of natural and man-made disasters. 2010. Risk Assessment and Mapping Guideline for Disaster Management. European Commission Staff Working Paper 1626, Brussels, 2010.
- DENA (2012). Planning of the Grid Integration of Wind Energy in Germany Onshore and Offshore up to the Year 2020 (dena Grid study). Deutsche Energie Agentur, Berlin, 2012.
- ENTSO-E (2010). Ten-year network development plan 2010-2020. European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), Brussels, 2010.
- ETSO (2006). Overview of the administrative procedures for constructing 110 kV to 400 kV overhead lines. European Transmission System Operators (ETSO), 2006.
- EURELECTRIC (2011). Power statistics and trends. Synopsis, December 2011.
- EWEA (2010). Large Scale integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations. European Wind Energy Association (EWEA) Brussels, 2010.

ETSO (2006). Overview of the administrative procedures for constructing 110 kV to 400 kV overhead lines. European Transmission System Operators (ETSO), 2006.

IRENA (2015). Renewable Power Generation Costs in 2014

Komendantova, N., Vocciante, M., Battaglini, A., (2015). Can the BestGrid Process Improve Stakeholder Involvement in Electricity Transmission Projects? *Energies*, 2015, 8, 9407-9433, doi: 10.3390/en8099407

Larsson, S., Ek, E., (2003). Black-out in southern Sweden and eastern Denmark, September 23, 2003. Svenska Kraftnät, the Swedish Transmission System Operator.

Poljanšek, K., Bono, F., Gutiérrez, E., (2011). Seismic risk assessment of interdependent critical infrastructure systems: The case of European gas and electricity networks. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics Volume 41, Issue 1, January 2012 Pages 61–79*

Simonsen, I., Buzna, L., Peters, K., Bornholdt, S., Helbing, D., (2008). Dynamic Effects Increasing Network Vulnerability to Cascading Failures. *Phys.Re.Lett.* 100, 218701 (2008)

UCTE (2006). Final Report: System Disturbance on 4 November 2006. Union for the Coordination of Transmission of Electricity

UNISDR (2013). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nation Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, 2013.

UNISDR (2005). Implementing the Hyogo Framework for Action in Europe: Regional Synthesis Report 2011–2013. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005.

UNISDR (2005). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005.

## 2.2. Словения: обледенение электросетей в 2014 году.

### Матиас Керсник (Matjaz Kersnik), Электро Лубляна

В феврале 2014 г. сильное обледенение вызвало серьезные энергетические перебои в Словении. В данной публикации освещены основные обстоятельства, которые привели к обледенению, принесшие ущерб на большой территории, а также вытекающие из этого проблемы чрезмерной продолжительности перебоев, и то, каким образом данные проблемы были урегулированы. В конце будут представлены выводы и возможные решения, которые в будущем позволят снизить ущерб от подобных перебоев, вызванных экстремальными погодными условиями.

### Введение: погодные условия.

В конце января 2014 года, в связи с экстремальными погодными условиями в Словении была объявлена «красная»

тревога. Почти во всей стране буря нанесла небывалые повреждения за последние 100 лет, в том числе и с сильным обледенением. Во многих местах количество осадков превышало среднее значение, которые немедленно замерзали на электрическом оборудовании, контактируя с землей, что приводило к серьезным, массовым повреждениям объектов. В некоторых местах толщина слоя льда превышала несколько сантиметров. Для многих деревьев и линий передач такие ледяные наслоения были слишком тяжелыми, что привело к серьезным авариям на воздушных линиях электропередачи. На рис. 30 демонстрируются первые дни шторма: Последствия шторма были катастрофическими, и власти объявили о введении чрезвычайного положения. Произошли повреждения воздушных линий электропередачи (400 кВ, 220 кВ, 110 кВ), воздушных распределительных ли-

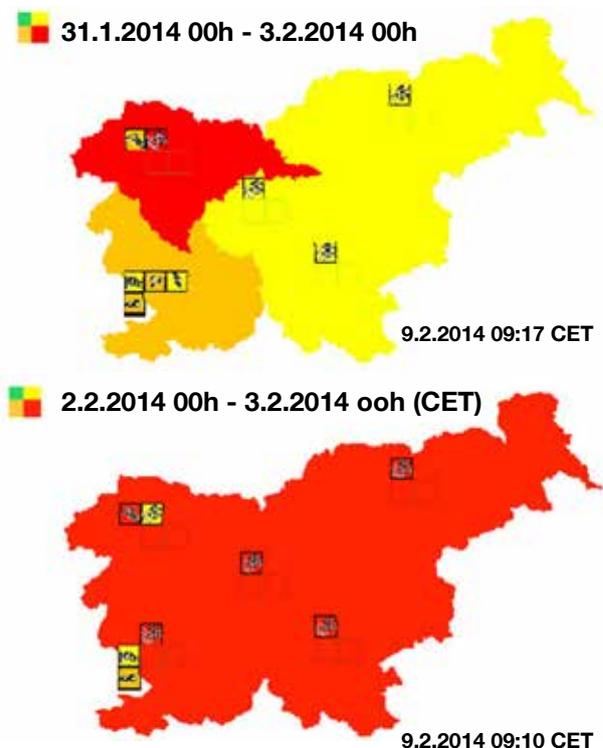


Рис. 30. Градации погодного риска в цвете: красный представляет самый высокий уровень; желтый самый низкий.

Источник: APCO, Национальная метеорологическая служба, бюро метеорологии (ARSO, National Meteorological Service, Bureau of Meteorology)

ний (110 кВ, 20 кВ) и низковольтных линий (до 1 кВ) общей протяженностью более 1000 км. Были повреждены около 5000 подстанций 20/0.4 кВ подстанций. Более 250 тысяч человек остались без электроэнергии, к некоторым отключение продолжалось в течении более 10 дней. После погашения были найдены полностью уничтоженные части сетей. До конца апреля, в этих местах было доступно только аварийное электропитание от дизель-генераторов. В общей сложности для выработки электроэнергии были использованы более 100 дизель-генераторов мощностью до 1 МВА. В восстановительных работах по подаче электроэнергии было задействовано более 1500 человек, работающих сообща. Они занимались восстановлением подачи электроэнергии в

городах и крупных населенных пунктах, в данных работах участвовали представители от электрических распределительных компаний и других аварийно-спасательных служб, таких как: гражданская оборона, пожарные, армия, а также волонтеры, строительные компании, иностранные эксперты. Предполагаемый ущерб сети распределения электроэнергии оценивается в 70 миллионов евро.

Информационная связь почти сразу была нарушена, потому как базовые GSM-станции не имели электропитания, а резервные питающие батареи разрядились. Из-за аварии на линии 110 кВ также исчез FM сигнал. В этот момент никто не мог получить информацию о текущей ситуации. Отсутствовало дистанционное управление, поэтому все делалось вручную. Для устранения повреждений, починка неисправностей была проведена в рабочем порядке от высокого напряжения к низкому.

Для некоторых значимых высоковольтных воздушных линий временно использовались модульные структуры экстренного восстановления (МСЭВ) позволившие подключить к питанию трансформаторные подстанции 110/20 кВ. Использование МСЭВ позволило максимально быстро и эффективно восстановить поврежденные участки высоковольтных воздушных линий, которые были повреждены бурей. Модульные структуры экстренного восстановления – быстрый способ временной замены поврежденных линий после прошедших стихийных бедствий. Это также позволяет владельцу высоковольтных воздушных линий электропередачи с помощью анализа проблем, систематически готовиться к восстановлению объектов, разрабатывать новую документацию, подготавливать конструкции высокого качества и строить новые опоры высоковольтных воздушных линий электропередачи. В том числе, МСЭВ позволяют проводить регулярные инспекции и обнаруживать неисправности на опорах или консолях высоковольтных воздушных линий электропередачи. Электро Любляна пользуется МСЭВ для устранения повреждений подобного рода. Остальные неисправности устраняются как обычно, в рабочем порядке. Однако большое количество аварий и очень сложные погодные условия вызвали много проблем по всей стране.

Применяемый МСЭМ подход, формирует целый ряд задач и вопросов, которые необходимо решить для обеспечения эффективного реагирования и антикризисного управления. Далее перечислены самые главные из них:

- Своевременная активация обслуживающего персонала.
- Эффективное управление персоналом.
- Обеспечение достаточного количества специалистов для осуществления действий.
- (Региональное) сотрудничество со специалистами из других областей.
- Общественный резонанс.
- Наличие и удовлетворительное состояние рабочего оборудования, в том числе средств индивидуальной защиты и материалов.
- Транспорт и логистика.



Рис. 31. Поврежденные воздушные линии электропередачи.

Источник: Электро Любляна (Elektro Ljubljana)



Рис. 32. Структуры аварийного восстановления.

Источник: Электро Любляна (Elektro Ljubljana)

- Функционирующие системы связи (FM, GSM).
- Ведение учета работ, материального потребления, и окончательного исправления дефектов.
- Ведение учета агрегатов, расхода топлива, а также потребителей, подключенных к агрегатам.
- Мобилизация добровольцев и офицеров в отставку.
- Организация питания и отдыха.
- Договорные отношения с наемными работниками по техническому обслуживанию.
- Документация по безопасности труда и полное соблюдение правил безопасности.

Далее, после разъяснений по каждой из этих задач, мы рассмотрим, как в нашей ситуации они были применены.

Активация рабочих происходит на уровне подразделения или компании и предполагает собой быструю реакцию на сообщение о появившейся проблеме. В данном случае отклик составил 10 минут, а на некоторых участках даже меньше. Компании и операторы, ведущие мониторинг событий, отвечают за время реакции. Размещение персонала, количество специалистов, а также то, где они будут работать, зависит от степени чрезвычайной ситуации. Например, некоторые сотрудники изначально работают независимо друг от друга, а затем получают сообщение о более высоком уровне чрезвычайной ситуации и приводятся в действие. В данном случае важную роль играет локальная координация, для этого требуются местные жители, ориентирующиеся на местности.

Обширные повреждения требуют ясного и согласованного контроля, а также функционирования действующих центров управления распределением, где местные центры имеют особенно важное значение. Число активных рабочих включает в себя все имеющиеся кадры, а также не специализированный персонал, который мог бы помочь в поиске ошибок и проблем. Численность специалистов из других служб (гражданская оборона, пожарные, военные, строительные подрядчики, иностранные технические группы, монтажники, вспомогательная помощь от других электrorаспределительных компаний, помощь из-за рубежа) в наиболее пострадавших районах может превышать имеющиеся ресурсы на 500%. В первую неделю более 1500 рабочих были одновременно приведены в действие на разных участках (распределенные и иностранные рабочие). Было установлено тесное сотрудничество, особенно с местными подрядчиками, которые были знакомы с местностью. Языковой барьер с иностранными рабочими оказался серьезным препятствием, таким же, как и тот факт, что подрядчики, выбранные на основе тендера, не обязательно должны были быть знакомы с местностью, а это значит должна была применяться дополнительная подготовка. Численности местного персонала оказалось недостаточно, потому что местные специалисты так же управлялись иностранными экспертами.

В то время как общество реагировало положительно и с симпатией, особенно в сельской местности, нужно учесть, что проделанный объем работы было бы невозможно сделать без иностранной помощи.

Наличие и состояние рабочего оборудования было более-менее достаточным. В том числе работали непрофессиональные сотрудники, которые обычно не имели необходимого оборудования для работы в полевых условиях. Для обеспечения безопасности труда для всего обслуживающего персонала должны были быть в наличии средства индивидуальной защиты (СИЗ). Тот факт, что средства индивидуальной защиты были широко доступны и могли быть доставлены везде, где дополнительное оборудование было необходимо, показывает насколько действительно эффективно функционирует, а также организован отдел безопасности и охраны здоровья.

Поскольку многие дороги были закрыты из-за экстремальных погодных условий, транспортное сообщение было сильно затруднено. Рекомендовано впредь все транспортные средства оборудовать полным приводом, чтобы была возможность передвигаться по дорогам, которые закрыты для регулярного движения.

В первые дни событий количество имеющихся материалов было скудным, в основном из-за низкого уровня аварийных запасов. Однако были использованы некоторые материалы, предназначенные для других инвестиционных проектов. Позже, с помощью логистики и эффективных закупок, поставка материалов стала достаточной. Обработка поставок через централизованный склад с достаточным уровнем запасов улучшила логистику.

Когда некоторые из базовых GSM-станций исчерпали свои источники питания, начали использоваться коммуникации на основе FM / GSM. Сначала была возможность использовать только спутниковые средства телефонной связи. Отказ линий 110 кВ также означал, что FM сигнала тоже не будет, в том числе и оптического телекоммуникационного сигнала, следовательно, не было FM-связи и дистанционного управления. Через некоторое время батареи на трансформаторной станции были разряжены, и не было никакой информации о ситуации в SCADA. Стало необходимым вручную проверять положение переключателей и полностью работать в ручном режиме. Также не представлялось возможным использовать каналы передачи данных для обмена информацией. В результате чего, некоторые части страны оставались без связи с миром в течении 10 дней.

Ведение учета работ, расход материалов, а также потребности в окончательном устранении дефектов (по плану) было проблематичным, потому что разные компании пользовались разными системами хранения записей (различная ИТ-поддержка и стратегии). Ситуация улучшилась позже, когда было произведено определенное регулирование. Распространённой проблемой была нехватка персонала для сбора и записи дефектов.

Дальнейшее осложнение было вызвано за счет дополнительных информационных требований, поступивших из министерств, ведомств, DSO, и других учреждений. Они запрашивали различную информацию, однако иногда даже они сами не знали, что им было нужно и зачем. Каждое ведомство запрашивало информации, однако, зачастую без четкого определения и спецификации об уровне или содержании требуемой информации.

Хранение данных об агрегатах, расходе топлива и подключенных к агрегатам потребителях, создает затруднения с точки зрения мониторинга за агрегатами и расходом топлива. Большинство проблем были в мониторинге агрегатов и расхода топлива. Происходили различные отказы на агрегатах, которые должны были быть немедленно выведены из эксплуатации. Здесь также не были четко определены содержание и уровень собираемой информации. Оглядываясь назад, можно сказать, что получение информации в целом оказалось сложной задачей. Другой проблемой являлась аренда агрегатов и их перенос в те места, где они были необходимы. Несколько дней понадобилось на создание системы отчетности для установленных агрегатов.

В то время как волонтеры и отставные военные предоставляли свою помощь, была выражена озабоченность в отношении безопасности труда, обязанностей и ответственности связанных с выполнением задач рабочих. Однако добровольцы и отставники в основном были вовлечены в менее сложную работу.

Из-за нехватки персонала требовалось, чтобы все рабочие трудились дополнительное время с перегрузкой. В определенный момент, рабочие должны были обязательно отдыхать в определенные периоды, потому как отсутствие отдыха вызывало усталость и угрожало безопасности труда.

Договорные отношения с наемными работниками включают в себя регулируемые договоры и письменные соглашения. С некоторыми рабочими такие договоры и письменные соглашения не были заключены. На самом деле, не всегда и не везде была возможность напечатать эти договора, потому как в некоторых областях не было ни персонала, ни времени для данной работы. Тем не менее, это были подрядчики, обученные работать с электрическим оборудованием, которые в прошлом работали на компании по распределению электроэнергии. Вопрос о письменных соглашениях всегда должен быть решен до прихода наемных работников на места. Одним из вариантов может стать создание шаблонов письменного соглашения для поставщиков рабочей силы для сбора данных о работниках и сортировки их заранее в рамках правового поля.

Документы для безопасной работы необходимы на различных этапах работы над проектом. Во время первой фазы происходит локализация дефектов, документов для безопасной работы была прекращена. В скором времени, как только рабочие начали работать в организованном порядке, были выданы документы по безопасным методам работы. В тех районах, где произошла авария в системах электроснаб-

жения, выдача документов для безопасной работы началась, когда была восстановлена мощность на напряжении в 110 кВ. Инструктаж по технике и мерам безопасности осуществлялся в соответствии с инструкциями. Для координации каждого производимого действия была использована голосовая связь (FM), которая позволяет вести записи в центре управления распределением.

Соблюдение мер безопасности и правил варьируется в зависимости от сложности рельефа местности, насколько экстремальны погодные условия, а также ограничений на передвижение в лесу из-за проблем в области охраны лесов.

Инструктаж по технике и мерам безопасности должен выполняться в соответствии с инструкциями, насколько это возможно. Аварийный план должен быть разработан в соответствии с предложениями, которые обеспечивают безопасность и защиту работников, а также оказания им неотложной медицинской помощи в случае травм. Кроме того, такие чрезвычайные ситуации демонстрируют необходимость специальных знаний о территориальной организации служб и учреждений.

## Выводы.

Следующие меры рекомендуются для повышения оперативности и эффективности в кризисных ситуациях:

- Улучшение иерархии кризисного персонала и поддержание этой иерархии.
- Подготовка местных центров управления для оперативной реакции в кризисных ситуациях.
- Увеличение числа квалифицированных рабочих в ходе обычных операций, которые могут направляться и вести контрактные работы в условиях кризиса.
- Улучшение парка транспортных средств и оборудования.
- Реорганизация и создание центрального распределительного склада, достаточно большого, чтобы поставлять основной материал и организовывать логистику для доставки необходимых материалов.
- Заблаговременная подготовка письменных соглашений для временных работников.
- Прокладка кабельные сети, где это возможно.
- Работа в соответствии с правилами безопасности в кризисных ситуациях.
- Разработка методов учета, а также типа и объема требуемой информации в кризисных ситуациях.
- Определение, какие работы могут проводиться добровольцами и отставными офицерами.
- Договоры о способе обеспечения отдыха для работников и недоукомплектованных команд, трудящихся сверхурочно.
- Разработка и поддержание независимой системы связи (FM или аналогичный).
- На национальном уровне координация и связь с гражданской обороной, а также организациями компаний по распределению.
- Выдача пресс-релизов в кризисной ситуации с помощью сотрудников администрации и местной штаб-квартиры по чрезвычайным ситуациям.

Стихийные бедствия нельзя предотвратить. Экстремальные погодные условия будут по-прежнему представлять угрозу для энергетической безопасности. Кризис может быть менее болезненным, если быть готовым к неожиданностям, а также за счет эффективного обучения для более быстрого восстановления системы.

## Литература.

Keršnik, M., and Krešimir, B., (2015), A big disturbance in Slovenia in February 2014 caused by severe icing, CIRED Lyon 2015, 23rd International Conference on Electricity Distribution, held 15-18 June 2015

Pungartnik, T., (2013), Emergency restoration structures (Ers), acceptable solution in the maintenance of high voltage overhead lines. Proceedings of the 10th conference HRO CIGRÉ, Cavtat, 6. – 10. November 2011.

## 2.3. Юго-Восточная Европа: наводнения в 2014 году.

### Милка Мумович (Milka Mumovic)

Секретариат Энергетического Сообщества (Energy Community Secretariat)

### Введение.

В последние годы ледяные бури, наводнения и оползни поражают Балканский регион и приводят к катастрофическим последствиям. Сетевым операторам из пострадавших районов пришлось бороться с техническими ограничениями по ремонту и восстановлению их систем, а также финансовыми ограничениями для возмещения издержек и стабилизации потоков дохода.

Восстановительные работы показали необходимость в определении и осуществлении рабочего курса и процедур для:

- Мер предосторожности
- Быстрого ответа
- Восстановления или реинжиниринга (переработки)
- Управления последствиями.

Все эти мероприятия связаны с затратами. Несмотря на все ограничения и трудности, системы были успешно восстановлены. Тем не менее, финансовая жизнеспособность оператора сети оказалась в критическом состоянии.

Напомним, что сетевые операторы являются регулируемыми предприятиями, поэтому сетевые тарифы должны также адекватно отражать все риски, связанные с ремонтом и восстановлением системы от стихийных бедствий.



Рис. 33: Недавние природные бедствия на Балканах.

Источник: Секретариат Энергетического сообщества, Доклад Электропривреда Republike Srpske ущерба по распределению активов

### Недавние стихийные бедствия на Балканах.

В 2012 году сильный снег, выпавший на воздушные линии электропередачи, привёл к перерывам в электроснабжении и препятствовал доступу к поврежденной инфраструктуре. В 2014 году снежные бури снова ударили на Западных Балканах, в результате чего опоры и линии получили повреждение, а в поставках электроэнергии происходили перерывы.

В середине мая 2014 года непрерывные сильные дожди привели к затоплению обширных районов в Сербии, Боснии и Герцеговине, а также Хорватии, и описывались как «эпические наводнения».

Наводнения вызвали оползни и разрушения надземной (воздушной) и подземной инфраструктуры, трансформаторных станций, связи с потребителями, а также контрольно-измерительного оборудования. В результате наводнений пострадали миллионы, из них 80 человек погибли. Сильные и обширные дожди вызвали более 3000 оползней. Обеспечение электропитанием более 250000 потребителей было прервано.<sup>15</sup>

#### Наводнение на Балканах, Май 2014 .<sup>16</sup>

В Сербии от наводнения пострадало около 1,6 миллиона человек, что привело к 51 жертве, из которых 23 утонули. Около 32000 человек были эвакуированы из своих домов. Большинство эвакуированных временно переехали к род-

<sup>15</sup> Балканские наводнения 2014 <http://reliefweb.int/disaster/ff-2014-000059-srb>

<sup>16</sup> Доклад ООН 23/05/2014 <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=47879&Kw1=floods&Kw2=&Kw3=#.VriQvj2bq4>

ственникам, но около 5000 потребовались временные убежища в лагерях, созданных Правительством и представительством сербского Красного Креста. Были повреждены объекты здравоохранения, школы и сельскохозяйственные угодья. 15 мая правительство объявило чрезвычайное положение на всей территории страны.

В Боснии и Герцеговине более миллиона человек пострадали от наводнения, почти 90 тысяч были перемещены, а также было зафиксировано 25 жертв. Сильные, обширные дожди вызвали более 3000 оползней. Наводнения и/или оползни поразили 75000 домов, из которых 25000 были сильно повреждены или разрушены, а также причинили значительный ущерб средствам к существованию, здравоохранению, водоснабжения и санитарным объектам (МФКК, 21 июня 2014). В Хорватии наводнения вызвали массовые перебои в подаче электроэнергии, нехватку воды, повреждения инфраструктуры, поголовий скота и средств к существованию, а также к эвакуации жителей. Три человека погибли. Из примерно 15000 эвакуированных более 7000 были зарегистрированы и оставлены под присмотром хорватского Красного Креста. (МФКК, 30 мая 2014 г.). О наводнении также сообщили в Румынии и Болгарии (ЕСНО, 24 апр. 2014).

## Восстановление.

После катастрофических наводнений и оползней на Балканах, в том числе и аварии в системах распределения подачи электроэнергии в ключевых государственных сферах обслуживания и домашних хозяйствах, сетевые операторы сделали все возможное, чтобы восстановить поставки электроэнергии сразу же, как только вода пошла на убыль. Масштаб разрушений находит свое отражение в десятках тысяч метров поврежденных линий передачи электроэнергии, не подлежащих ремонту, разрушенных трансформаторах и соответствующего вспомогательного оборудования, проводов и воздушных линий, в том числе полностью уничтожены запасные части и материалы в затопленных складах.

Прошло всего несколько дней после того, как вода отступила, и стало возможным приступить к аварийному восстановлению питания и подключению приоритетных объектов в пострадавших районах. Серьезность ситуации заставила операторов сети работать день и ночь, чтобы предотвратить дальнейшие разрушительные последствия для населения и экономики.

Потребовались месяцы на полное возобновление работоспособности сетевой инфраструктуры, которая зависела от восстановления других инфраструктур и потребительских объектов.

## Меры по восстановлению - инструменты для оценки.

Оценка потребностей в восстановлении<sup>17</sup> указывает, что главным приоритетом являются мероприятия по восста-

новлению энергосистемы и мер, направленных на смягчение последствий. За ними следуют меры по управлению рисками и улучшению способности оператора сети реагировать на стихийные бедствия такого же или подобного масштаба. Краткосрочные меры включают в себя быстрое реагирование и восстановление. Последовательность может быть представлена следующими этапами<sup>18</sup>:

Краткосрочные или меры быстрого реагирования включают в себя:

- срочная передислокация ключевых объектов дальше от районов, подверженных наводнениям;
- обеспечение аварийно-спасательным оборудованием и материальными запасами;
- в приоритете быстрое восстановление поврежденных и разрушенных линий электропередачи и оборудования;
- установка измерительных приборов и безопасная подача напряжения на пораженные участки.

После того, как эти быстрые меры реагирования стали использоваться с целью обеспечения электроэнергией для восстановления основных социальных и коммерческих функций в пострадавших районах, были разработаны и внедрены среднесрочные меры, позволяющие операторам сократить потери из-за снижения спроса на электроэнергию.

Среднесрочные меры включают в себя:

- пополнение запасов оборудования и запасных частей, используемых во время чрезвычайной ситуации;
- реконструкция / восстановление и строительство новых объектов распределения электроэнергии;
- восстановление и передача в эксплуатацию всех пострадавших объектов с обеспечением лучшей устойчивости к бедствиям;
- реконструкция, и восстановление пораженной инфраструктуры в том числе аппаратуры, с учетом мер защиты от наводнений и оползней;
- переподключение затрагиваемых служебных помещений для обеспечения продолжительной, бесперебойной работы системы.

Во время недавнего наводнения на Балканах был разработан комплексный план восстановления, который в полной мере учитывал доступ в пострадавшие районы, приоритет для связи и темпы восстановления узлов потребления и оборудования, что имело жизненно важное значение на данном этапе. В период после наводнения было очевидно, что материалы, запасные части, инструменты и оборудование будут отсутствовать, отчасти из-за масштабов разрушений, а отчасти из-за того, что склады были повреждены или разрушены. Операторы распределительных систем из соседних регионов оказывали помощь в осуществлении мер быстрого реагирования, чуть позднее европейские операторы системы распределения из группы ЕВРОЭЛЕКТРИК предложили оказать поддержку путем срочного предостав-

17 Оценка восстановления потребностей, подготовленный доклад делегации ЕС в Боснии и Герцеговине, 2014

18 [http://ec.europa.eu/Расширение/PDF/press\\_corner/наводнения/140714-обзор-bih.pdf](http://ec.europa.eu/Расширение/PDF/press_corner/наводнения/140714-обзор-bih.pdf)

ления необходимых материалов и запасных частей, в первую очередь измерительных приборов.

Долгосрочные меры включают в себя меры предосторожности и меры по управлению последствиями. В долгосрочной перспективе сетевые операторы должны объединить прилагаемые усилия в области реконструкции и восстановления, а также касательно стратегии развития и роста. Эти стратегии должны учитывать риски стихийных бедствий и повысить устойчивость к ним. На основе оценки рисков, планы могут включать в себя: развитие планов действий быстрого реагирования и полного восстановления, обзор процедур, рассчитанных на чрезвычайные ситуации в будущем, перемещение ключевых объектов в районы не подверженные наводнениям, новые идеи и/или практические подходы к разработке энергетической инфраструктуры и активов, разработанные для повышения производительности и устойчивости, а также расположенные в стратегически важных местах - аварийное оборудование, такие как мобильные подстанции, и материальные запасы.

Массовое повреждение клиентского оборудования привело к существенному снижению спроса, такая ситуация требовала от сетевых операторов пересмотреть не только свои планы развития, но и требования к нагрузке от переприсоединившихся объектов.

### Инструмент для оценки финансовой жизнеспособности восстановленных сетей.

После возвращения к рабочему ритму, сетевые операторы должны оценить свое положение до и после стихийного бедствия, проанализировать применявшиеся процедуры и меры, их эффективность, после чего, соответственно полученным данным, скорректировать курс и технологический процесс компаний. Непосредственные финансовые затраты включают в себя расходы на ремонт оборудования и восстановление, списание и утилизацию аппаратуры, затраты на приобретение и установку нового оборудования, а также учитывается потерянная прибыль.

Поврежденное оборудование должно быть в срочном порядке продиагностировано и по возможности отремонтировано. Если ремонт не представляется возможным или не является целесообразным, оборудование должно быть утилизировано и заменено. Оператор сети должен на месте проводить прозрачную процедуру такой оценки. В принципе, имущество должно быть восстановлено, но только в случае если рыночная стоимость отремонтированного оборудования превышает балансовую стоимость, тогда как балансовая стоимость равна сумме чистой балансовой стоимости и затрат на ремонт.

**Затраты на ремонт и утилизацию** включают в себя еще и использованный материал, привлечение персонала, оборудования, транспорта, участие персонала в полевых работах, а также услуги третьих лиц (аутсорсинг). В данном случае, затраты, как правило, бывают выше по сравнению

с аналогичным объемом работ в рамках своей обычной деятельности. Расходы на восстановление и реконструкцию отразились в счетах компаний, как затраты в период чрезвычайной ситуации. Если компания не имеет страховки или выделенный резервный фонд, расходы на данный период, скорее всего, значительно повысятся. Поврежденное оборудование без возможности восстановления должно быть списано, и учитываться по балансовой стоимости без вычетов. В соответствии с отчетной политикой компании эти единовременные расходы, если таковые имеются, со временем стабилизируются за счет ликвидационной стоимости, а также затрат на утилизацию, которые могут включать в себя демонтаж, транспортировку и восстановление участка.

**Замена**, считается состоявшейся, когда новое оборудование, с учетом обновленных параметров конструкции для повышения устойчивости, устанавливается вместо неисправного или уничтоженного старого. Все расходы включают в себя установку оборудования на место, подготовку условий для его использования и капитализацию (т.е., постановку на учет в качестве основных средств). Это приобретение не повлияет на отчет о прибылях и убытках текущего года сразу, потому как амортизируется в течение срока его полезного использования.

Во время стихийных бедствий компании получают материальную поддержку и гранты, либо денежными средствами, либо в натуральной форме. Важно принять к сведению, чтобы учесть все полученное - определяется справедливая стоимость полученного имущества в натуральном выражении и с учетом всех связанных с этим расходов, таких как транспорт, монтаж, пробный пуск и т.д. в том числе связанных с приобретением. Гранты очень важны, потому как полученные средства не дают расти операционным расходам. В краткосрочной перспективе гранты и пожертвования в виде оборудования – облегчают финансовое положение оператора сети и давление на текущие сетевые тарифы, потому что безвозмездно переданная аппаратура должна учитываться при установке тарифов.

**Потеря доходов** связывается с длительными простоями, и имеет другие косвенные пагубные последствия. Электричество не поставляется клиентам, а потребление не регистрируется, пока измерительное оборудование не будет установлено. Затраты, понесенные в период, когда услуги не поставлялись, а также постоянные расходы за этот период, не покрываются. Если компания не имеет страховки на случай непредвиденных обстоятельств или для покрытия расходов на ликвидацию чрезвычайных ситуаций, ее жизнеспособность будет под угрозой. Это касается не только сетевых операторов, которые теряют доходы. Все другие субъекты экономической деятельности в зоне поражения не работают и не получают доходы. Косвенные убытки оцениваются с использованием различных методик, но для электрической сети важным показателем является значение ограниченной нагрузки. Значение ограниченной нагрузки представляет собой оценочное значение, которое потребители соотносят с режимной надежностью поставок электроэнергии и рассчитываемое как сумма, которую они готовы заплатить,

чтобы избежать перебои с электроэнергией. Эта оценка может быть использована для определения социальных издержек и выгод от мер по повышению устойчивости и снижению природных опасностей.

**Страхование распределительного оборудования и действий компаний** является вопросом внутренней экономики. Страховка для сетевых операторов, как минимум, должна покрывать риски повседневной эксплуатации. Не так часто используется расширенный вид такого покрытия, предусматривающий ситуации, заявленные как чрезвычайные положения и стихийные бедствия. Решение будет основываться на хорошо обоснованном анализе затрат и выгод, с учетом общего влияния на стоимость услуг и значение ограниченной нагрузки.

Функционирование сети - это регулируемый вид деятельности, следовательно, решения, касающиеся страховой защиты будут зависеть от нормативной оценки. Оператор сети не понесёт затрат, которые не могут быть взысканы за счет тарифов. С другой стороны, ответственность за оценку расходов и прибылей в различных ситуациях по страховке лежит именно на сетевых операторах.

## Итоги.

Сетевой оператор выступает в качестве поставщика важных государственных услуг, и обязан должным образом заботиться о надежности сети и эксплуатационных расходах. Для того, чтобы оставаться в равновесии требуется использовать всесторонний анализ и оценку различных сценариев, а также быть в курсе научных и технических достижений и осуществлять внедрение передовых практик. Частью регулирующего процесса является надзор и утверждение. Сетевой оператор должен стремиться обосновать свое предложение с достаточным количеством доказательств для принятия обоснованного решения. В приоритете:

- постоянно проверять и модернизировать аварийно-восстановительные планы;
- изучить варианты с низкой стоимостью, чтобы минимизировать ущерб от существующих энергетических активов в будущем;
- рассмотреть страховые договоры и активы страхового покрытия;
- анализ эффективности конструктивных параметров усовершенствованных решений для обеспечения устойчивости и пересмотра планов развития.

## 2.4. Франция: шторма в 1999 году.

### Эрик Андреини (Eric Andreini)

Электричество транспортной сети (ЭТС)  
(Réseau de Transport d'Electricité (RTE))

### Введение: Природные катаклизмы - реальность и возрастающие риски.

В процессе изменения климата стихийные бедствия имеют тенденцию происходить чаще и быть более непредсказуемыми, и в свою очередь имеют разрушительные последствия для критически важной энергетической инфраструктуры. С 1999 года Франция переживала несколько штормов, которые сильно повлияли на ее электрические сети. Два наиболее серьезных - Лотар и Мартин, произошедшие 26 и 27 декабря 1999 со скоростью ветра почти 200 км / ч (рис. 34).

Каждый год, в период с 2009 по 2012, шторм воздействовал на сеть: Клаус - январь 2009: сопоставимый по скорости ветра с Лотар и Мартин, он повредил в четыре раза меньше опор, чем в 1999 году; Иоахим - декабрь 2011 г.; Андреа - январь 2012 года и Фон - апрель 2012 г., ветер со скоростью свыше 110 км/ч повлиял на сеть нанеся незначительные повреждения.

Поэтому операторы систем передачи (ОСП) должны учитывать природные бедствия в стратегии развития и технического обслуживания электрических сетей.

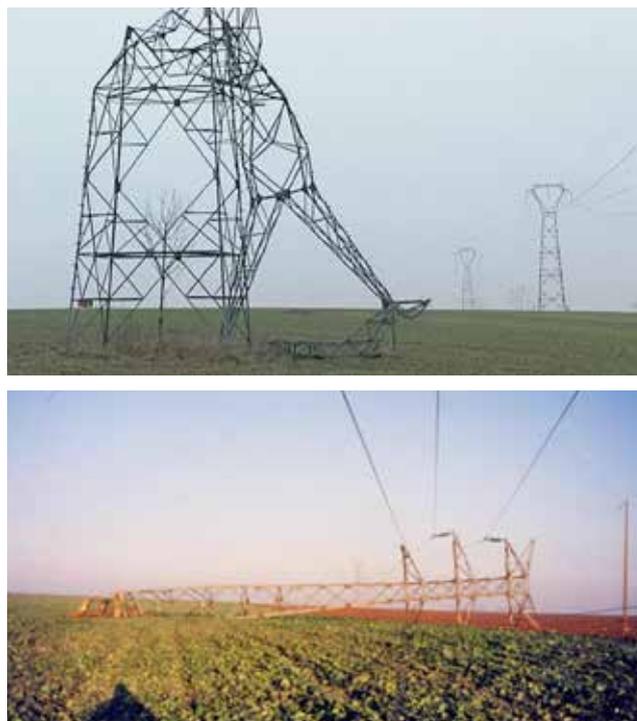
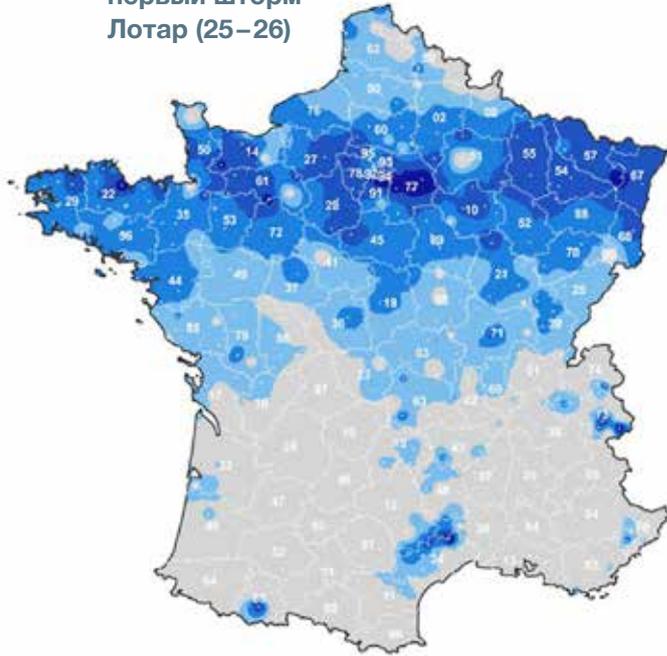


Рис. 34: Последствия природных бедствий.

Источник: RTE library

## Декабрь 1999

первый шторм  
Лотар (25–26)



второй шторм  
Мартин (27–28)

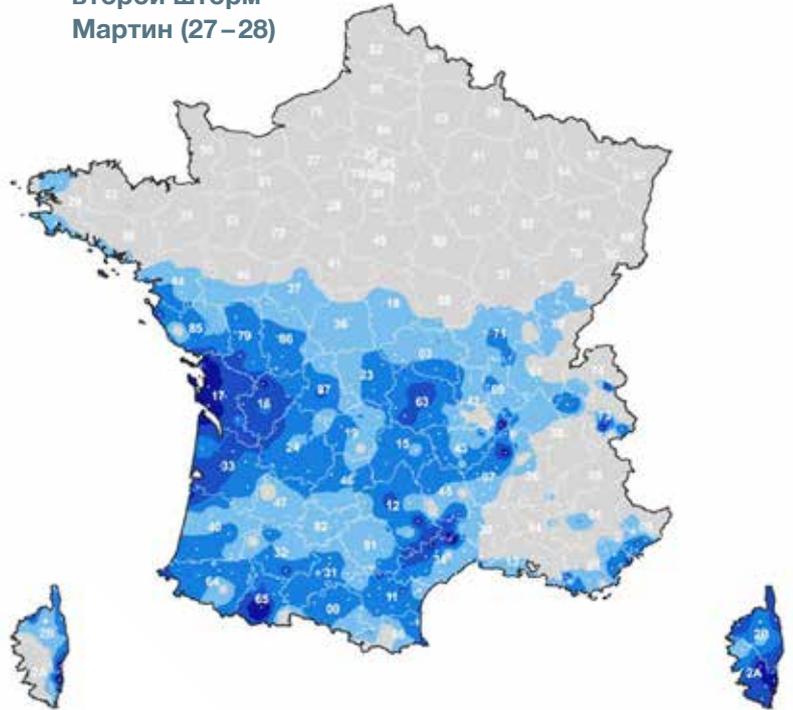


Рис. 35. Ключевые показатели прошедших штормов: скорость ветра от синего к красному.

Источник: метеорологическая служба Франции

## Последствия стихийных бедствий для электрических сетей.

Сети передачи электроэнергии, состоящие в основном из воздушных линий, кабелей и опор особенно чувствительны к штормам, сильным ветрам и падающим деревьям. Такие ситуации приводят к перебоям в энергоснабжении, которые могут быть очень длительными из-за большого объема необходимых ремонтных работ (рис. 36).

Франция никогда ранее не сталкивалась с такими штормами. Как показано в приведенной выше таблице, последствия были очень серьезными, однако сеть показала хороший уровень устойчивости: всего было затронуто 0,5% опор от общего их количества. Это не кажется большими потерями, однако, около 10% линий и более 180 подстанций вышли из строя на срок пяти и более дней. Следовательно, фундаментальным значением энергетической системы является устойчивость сети к последствиям стихийных бедствий.

## Решение технических вопросов касательно укрепления сети: программа механической прочности

После этих событий ЭТС решила внедрить новую механическую модернизацию своей сети, основанную на: I) увеличении возможного давления ветра на стадии проектирова-

НАПРЯЖЕНИЕ	ПОВРЕЖДЕНИЕ	ПРИЧИНА
63/90 кВ 300	уничтожено	50% ветер
421/4900 линии, вышедшие из строя	500 поврежден	50% ветер 50% деревья
225 кВ	125 уничтожено	90% ветер 10% деревья
81/1050 линии, вышедшие из строя	25 повреждено	50% ветер 50% деревья
400 кВ	120 уничтожено 5 повреждено	100% ветер
38/450 линии, вышедшие из строя	5 повреждено	100% деревья

Рис. 36. Основная статистика о последствиях штормов 1999 года: (повреждение = количество опор).

Источник: Данные, ЭТС (Data, RTE)

ния; II) установке анти-каскадных опор через каждые 5 км, для снижения уровня возможного ущерба. Целями предложенных мер являются: I) непрерывность обслуживания; даже если возникнет другой шторм похожий на тот, что был в 1999 г., линии электропередачи должны продолжать снабжать питанием подстанции; II) восстановление работы сети, даже если большой шторм нанес сильные повреждения; необходимо преодолеть задержки, как в снабжении



Рис. 37. Тренировки и совместные действия по аварийному восстановлению.

Источник: библиотека ЭТС (RTE library)

подстанций от «энергоисточника», так и обеспечении безопасности населения, поскольку повреждения инфраструктуры имеют последствия как для энергоснабжения, так и в для безопасности в общественных сферах. Для того, чтобы противостоять ветру с зарегистрированной скоростью в 200 км/ч и более, в тех районах, где ЭТС ранее никогда не регистрировала скорости более 160 км/ч, в новое техническое законодательство было внесено предложение о технической модернизации.

Новый «технический» закон (2001) с тройкой «разрешенных» давлений ветра:

- Нормальный ветер (внутренний): 570 Па на проводниках (+ 20%) (ранее, 480 Па)
- Сильный ветер (в некоторых регионах): 640 Па
- Очень сильный ветер (побережье / река-пересечения): 720 Па

**«Анти-каскадные» опоры должны быть установлены через каждые 5 км:** чтобы избежать больших каскадных сбоев и обеспечить быстрое восстановление благодаря временным линиям (длиной 5 км).

Все предлагаемые положения: переделка 1395 опор на линиях напряжением 400 кВ, 842 опорных фундамента, а также расширение 8400 км просек, - были завершены к концу 2010 года.

На основе обратной связи, были достигнуты следующие цели:

- Убедиться в том, что в каждой точке поставки ЭТС имеется надежная линия питания, устойчивая к ветрам, с интенсивностью, эквивалентной штормам 1999 г. Класс пригодности «полностью надежный» касается около 2500 пунктов надежных поставок, 48700 км сетей (3700 линий), которые представляют собой надежное присоединение к контрольной сети. В конце 2012 года надежными считались примерно 61% точек доставки и 74% линий.

- Укрепление важных пересечений дорог и особых территорий. Этот пункт касается около 8000 пересечений, дошедших до 80% к концу 2012 года с завершением в 2017 году.
- Сократить время перепоключения каждой снабжаемой подстанции на случаи возникновения исключительных ситуаций до пяти дней.

Программа должна быть завершена к 2017 году. Программа механической надежности, реализация которой началась в 2002 году, до 2007 года финансировалась в размере 100 миллионов евро/год операционным бюджетом ЭТС. С 2008 года развертывание программы ускорилось за счет того, что финансирование достигло 185 миллионов евро/год (без учета инвестиций). Около 20% инвестиционной программы ЭТС уходит на разработку политики надежности.

### Учения и сотрудничество по аварийному восстановлению.

ЭТС приняло на себя обязательства от французского правительства по восстановлению питания на подстанциях в течение пяти дней. Организация аварийного восстановления также осуществляется на основе антикризисного управления, временными линиями 400 и 225 кВ и регулярных командных тренировочных упражнений. В ноябре 2012 года ЭТС подписали Протокол Соглашения с GO15 о взаимной помощи.

## 2.5. Устойчивость электрических сетей к природным бедствиям.

Вэй Лю (Wei Liu)

Программа связи человека и окружающей среды (Human and Environment Linkage Program)

### Введение.

В современном обществе сети передачи электроэнергии - это одни из важнейших компонентов систем, которые играют жизненно важную роль в снабжении энергией национальных и региональных экономик, а также повседневной жизни людей. Надежность этих сетей, чаще всего огромных по размерам, имеет важное значение для надежности энергоснабжения, или даже национальной безопасности. По мере роста электрических сетей, они сталкиваются с целым рядом угроз, главными среди которых являются стихийные бедствия, такие как землетрясения, цунами, наводнения, оползни, и тому подобные. Стихийные бедствия могут привести к серьезным последствиям, разрушить или повредить критически важные сети электроснабжения, результатом чего становятся потери, понесенные непосредственно оператором коммунальной или электрической системы. Электричество имеет важное значение для поддержания функциональности аварийно-спасательных служб и других жизненно важных коммуникаций, таких как водоснабжение, топливопроводы и связь, а также играет важную роль в экономической жизнеспособности общества. Отказ электрических сетей во время стихийного бедствия может привести не только к огромным прямым и косвенным экономическим потерям, но также особо повлиять на нормальную жизнь и общественное производство, или даже вызвать каскад экономических, социальных и экологических последствий в сегодняшних чрезвычайно сложных и взаимосвязанных обществах. Быстрое восстановление электрической сети имеет решающее значение для возвращения пострадавших от стихийных бедствий регионов в исходное состояние. Поэтому дискуссии об устойчивости электрических сетей становятся существенными в регионах и странах со значительным присутствием стихийных бедствий, а также в контексте изменения климата.

### Множество перспектив для устойчивости.

В этом разделе мы кратко рассмотрим различные перспективы для устойчивости из различных дисциплин и обсудим, как они относятся к защите и устойчивости электроэнергетических сетей и других критически важных систем инфраструктуры.

### Инженерная и материальная устойчивость.

Инженерная устойчивость, вероятно, наиболее широко известна широкой публике Давуди (Davoudi) (2012, стр. 300) определил ее как «способность системы, вернуться в стационарное состояние или состояние равновесия после возмущений... таких, как наводнения или землетрясения, или, например, социальные потрясения, включающие в себя банковские кризисы, войны или революции». Уровень устойчивости пропорционален скорости возврата системы в нормальное состояние. В материаловедении, устойчивость - это способность материала поглощать энергию, деформироваться от этого, но при этом не оставаться в измененном состоянии перманентно. И чем больше энергии материал может поглотить до достижения максимального предела упругости, тем более устойчивым он является. Холлинг (Holling) (1996, стр. 33) указывает на то, что инженерная устойчивость «ориентирована на эффективность, стабильность и предсказуемость - необходимые атрибуты, которые инженеры по устойчивости к отказам хотят воплотить в систему».

### Экологическая устойчивость.

Холлинг ввел термин экологической устойчивости и определил его как «мера стойкости систем и их способность к поглощению изменений и возмущений, сохраняя при этом те же самые отношения между населением и государственными составляющими» (Холлинг (Holling), 1973, стр. 14). В этом определении он акцентирует внимание на концепции стойкости, изменчивости и непредсказуемости, в отличие от эффективности, постоянства и предсказуемости в инженерной устойчивости. Устойчивость экосистем обладает способностью абсорбировать возмущения (например - пожар, борьба с вредителями) и реорганизовываться во время изменений.

### Устойчивость в других дисциплинах - психологическая, социальная и экономическая.

Понятие психологической устойчивости возникло из наблюдений за развитием детей/молодежи, а также из эпидемиологии. Речь идет о способности индивида поддерживать физиологическое и психологическое здоровье в условиях травматических или неблагоприятных событий, а также способности оправиться после них. Устойчивость была расширена до концепции устойчивости сообщества, которая рассматривает общую способность членов социума сотрудничать и развиваться в непредсказуемой среде (Уэльш (Welsh), 2013 г., Беркс (Berks) и Росс (Ross), 2013). Последнее также связано с появлением социальной устойчивости (Адгер (Adger) и др., 2000; Кек (Keck) и Сакдаполрак (Sakdapolrak), 2013 г.), которая подчеркивает преодоление проблем, адаптацию и преобразование потенциала обществ, сталкивающихся с изменениями и потрясениями. В экономике устойчивость, как правило, связана с тем, на что способны рынки для поддержания своих функций в работоспособном состоянии (например, продолжать производ-

ство или рост), когда экономика находится в шоке от кризиса, потребители изменяют свои предпочтения, поврежден капитал (например, стихийными бедствиями), и так далее. Экономическая устойчивость требует стабильной и эффективной макроэкономической и институциональной среды, в том числе и эффективного рынка, наряду с социальным развитием (Роуз (Rose), 2007).

## Возникновение социально-экологической устойчивости.

Понятие устойчивости социально-экологической системы, было разработано совместно с природоведами и социальными учеными, в том числе частично основываясь на работах Холлинга по экологической устойчивости. Альянс устойчивости определил это понятие как «способность социальной экологической системы поглощать или выдерживать возмущения и другие факторы стресса, таким образом, что система в свою очередь остается в том же режиме, и в основном сохраняет свою структуру и функции. Это отражает уровень, с которым система способна к самоорганизации, обучению и адаптации» (RA 2015). Социально-экологическая система видит перспективы во взаимосвязи человеческих сообществ, физического мира и биосферы в целом, в том числе рассматривает устойчивость мышления как важную часть решения для устойчивого развития, потому что она стремится к способности адаптироваться и созданию гибкости в долгосрочной перспективе, давать людям возможности, чтобы они могли заранее предвидеть изменения и влиять на будущие исходы событий, вместо того, чтобы сосредоточиться на оптимизации краткосрочной производительности и/или эффективности системы.

Опираясь на вышеуказанные аспекты, мы полагаем, что более целостная основа для создания электросетей, устойчивых к природным бедствиям должна (1) рассматривать электрические сети как физические компоненты, так и их обслуживающий персонал и организации, которые ими управляют, (2) использовать сети, внедренные в более широкой региональной или национальной социально-экологической обстановке, и (3) определять устойчивость как способность поддерживать функциональность и восстанавливать потенциал в условиях будущих бедствий и продолжить работу по улучшению использования опыта, извлеченного из произошедших ранее стихийных бедствий.

## Четыре свойства устойчивости и их причастность к защите и созданию устойчивых электрических сетей.

В то время как устойчивость системы зачастую зависит от места, масштаба и обстановки, в действительности существуют и некоторые общие свойства или принципы. В этом разделе мы кратко рассмотрим четыре основных свойства, которые были определены в различных устойчивых системах (Симеларо (Cimellaro) и др., 2010), а именно – робастность, избыточность, находчивость и быстрота. Симеларо и др. определили эти свойства следующим образом:

- **Робастность:** сопротивление или способность элементов, систем и других анализируемых средств выдерживать заданный уровень напряжения или спроса без последствий уменьшения или потерь функций.
- **Избыточность:** способность удовлетворить функциональные требования в случае разрушения, уменьшения или потери функциональности.
- **Быстрота:** способность придерживаться приоритетов и достигать поставленных целей своевременно для того, чтобы снизить потери, восстановить функциональные возможности и в будущем избежать сбоев.
- **Находчивость:** способность выявлять проблемы, определять приоритеты и мобилизовать альтернативные внешние ресурсы в случаях, когда существуют обстоятельства, которые угрожают разрушить какой-то элемент, систему или другие средства.

Эти четыре свойства являются весьма актуальными в контексте устойчивости электрических сетей к стихийным бедствиям. В настоящее время дискуссии по устойчивости электрической сети в основном обращают внимание на **робастность** физических компонентов, таких как оборудование подстанций и линии электропередачи и их опоры, в том числе сосредотачиваются на устранении проблем проектирования, таких как низкая детализация, ошибочное ограничение, или незакрепленное оборудование, которое становится уязвимым для стихийных бедствий, таких как землетрясения и оползни. Робастная электрическая сеть также должна включать в себя робастные человеческие ресурсы, которые включают в себя обученный персонал и организации с необходимыми знаниями и опытом для управления системой во время аварийно-восстановительных работ. К **избыточности** в значительной степени относится наличие альтернативных элементов, систем или других средств, которые являются взаимозаменяемыми с используемыми. Для сетей электроснабжения это может быть резервное физическое оборудование для каждого элемента сети, а также дополнительный персонал или возможность научить их дополнительным навыкам для управления системой. К **быстроте** относится то, как быстро соответствующие организации и персонал могут реагировать на бедствия во время чрезвычайных ситуаций, а также как быстро может быть восстановлена сетевая функциональность, даже если некоторые повреждения неизбежны. Быстрота также учитывает обучение, которое в том числе может включать в себя определенные перемены, например, как скоро сетевой оператор сможет извлечь уроки из произошедшего стихийного бедствия и лучше подготовиться к следующему подобному событию. **Находчивость** означает способность мобилизовать материальные (т.е. финансовые, физические, технологические и информационные) и человеческие ресурсы для всего процесса управления рисками стихийных бедствий и противостояния им. Находчивость часто путем принятия финансовых и организационных решений позволяет привлечь дополнительные и альтернативные ресурсы, которые могут помочь улучшить робастность путем замены устаревшего оборудования на устойчивое к стихийным бедствиям, а несущих конструкций - на более современные, а также обновления структур по предупреждению и уменьшению рисков от бедствий.



Рис. 38. Системы электрической генерации и передачи в подверженных опасности районах округа Вэньчуань, Сычуань, Китай вблизи эпицентра Вэньчугского землетрясения 2008 года.

### Устойчивость электрических сетей во время землетрясения в провинции Сычуань в Китае.

Горы в Западном Китае, в провинции Сычуань расположена в направлении восточной окраины Цинхай-Тибетского нагорья, где берут начало некоторые из крупнейших рек Азии, кормящих десятки миллионов людей вниз по течению. Эта провинция имеет большой потенциал в гидроэнергетике с общей теоретической мощностью 143 млн. кВт (около 21% общей мощности энергосистемы Китая) и технической теоретической мощностью более 100 млн. кВт. Суммарная установленная мощность гидроэлектростанций в провинции Сычуань с поставкой электроэнергии как внутри, так и за пределы провинции недавно достигла 63,7 млн. кВт. Горная местность в провинции Сычуань также является горячей точкой для зарождения землетрясений и оползней. По недавним рассказам проживающих тут людей землетрясения и оползни, фиксирующиеся здесь, являются обычным явлением, особенно в периоды летних муссонов (Хинг (Xing) и Ху (Xu), 2010 г.).

12 мая 2008 года в 14:28 в Вэньчуани произошло землетрясение магнитудой около 8,0 баллов по шкале Рихтера по данным администрации Китая, и 7,9 баллов по информации Геологической службы США, которое было самым разрушительным в Китае за последние 60 лет, результатом которого стали серьезные потери и убытки, а также наибольшая пораженная площадь – около 500 000 км<sup>2</sup>. Как минимум 69227 человек стали жертвами трагедии, 374643 человек было ранено и 17823 человек пропали без вести во время землетрясения, в то же время около 15,1 млн. человек срочно потре-

бовалось переселение из более чем 400 населенных пунктов (городов или районов) в 10 провинциях (муниципалитеты или автономные районы) (Синг (Xing) и Ху (Xu) 2010). В результате землетрясения была сильно разрушена региональная инфраструктура, в том числе системы электроснабжения. Кроме повреждений десятков гидро- и тепловых электростанций (таких как вблизи эпицентра, показанных на рис. 38 и 39), региональные высоковольтные сети передачи электроэнергии и местные системы распределения также были серьезно разрушены (см. фотографии на рис. 39 справа). В общей сложности 2,46 миллиона пользователей пострадали от отключения электроэнергии. Из-за землетрясения в пострадавших районах не было электроэнергии, из-за чего не работали водонасосы и другое оборудование, что повлекло за собой отказ системы водоснабжения. Половина радиосвязи была повреждена в провинции Сычуань отчасти из-за нарушения питания, которая препятствовала функционированию тысяч базовых станций (Чен (Chen) и Боос (Booth) 2011).

Землетрясение в Вэньчуани создало беспрецедентные проблемы в электрической сети в провинции Сычуань и всей энергетической отрасли Китая. Низкая устойчивость электрической сети к подобным явлениям, по-видимому, была основным фактором серьезных потерь и убытков, а также косвенных воздействий. Физическая сеть не была достаточно прочной, чтобы выдержать последствия землетрясения и вызванных им оползней. В районах, расположенных вблизи эпицентра, сейсмическая активность достигла XI, что намного выше, чем принятый уровень сейсмической активности (в основном VII) при проектировании сетей. Три линии электропередач 500 кВ и 56 линий 220 кВ вышли из



Рис. 39. Поврежденная гидростанция «Генгда» (слева) и соседняя подстанция (справа) вблизи эпицентра Вэньчугского землетрясения (Фото: Минчон Лю (Mingchong Liu)).

стройка после землетрясения, в том числе пострадали 122 линии 110 кВ, 110 линий 35 кВ и 795 линий 10 кВ, в основном из-за упавших опор, и поврежденных трансформаторов, линий связи и другого высоковольтного оборудования (Эйдинггер (Eidinger) 2009). Сетевые операторы электроэнергетики не были готовы к такому исходу событий либо из-за отсутствия планов реагирования на чрезвычайные ситуации, либо из-за отсутствия связанных с ними знаний и опыта. Уровень избыточности в оборудовании и персонале также был низким, отчасти из-за того, что исторически, инвестиции и развитие сети передачи электроэнергии значительно отставали от строительства электростанций. В то время как уровень общей мобилизации страны был высоким, и правительство сконцентрировало огромное количество финансов и человеческих ресурсов в процессы ликвидации последствий землетрясения и для восстановления, электроэнергетическая сеть, покрывающая огромный район, поврежденный землетрясением, не вернулась обратно в базовое состояние спустя недели или даже месяцы, что является признаком отсутствия быстроты. Реконструкция всей электрической сети в регионе закончилась только пять лет спустя.

Получив жестокие уроки от землетрясения в Вэньчуани, в 2013 году в провинции Сычуань в более устойчивую реконструкцию системы передачи электроэнергии было вложено около 26 миллиардов юаней (~4,2 млрд. доллар США) (SGN 2013). Современные принципы проектирования сейсмостойких конструкций, такие как увеличение долговечности оборудования и строительство подстанций вне зон оползней, были приняты во внимание для развития энергетических систем. Теперь это оборудование может выдержать более высокий уровень сейсмической активности. Что еще более важно, Сычуаньской Государственной Энергосетевой Корпорацией была разработана и внедрена новая сеть электроэнергии и система управления рисками и ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций, охватывающих предотвращение рисков стихийных бедствий, подготовку, реагирование и этапы восстановления (ИСКМ 2015). Эта новая система вскоре была испытана в Лушане во время

землетрясения магнитудой около 7 баллов по шкале Рихтера, по данным администрации Китая и 6,6 баллов по информации Геологической службы США 20 апреля 2013 г., эпицентр которого находился всего в 85 км к юго-западу от эпицентра землетрясения Вэньчуань, с самой высокой измеренной сейсмической активностью равной IX. Хотя оно и было менее разрушительным, нежели в Вэньчуане, от Лушаньского землетрясения пострадали еще около 2 миллионов человек в более чем 100 округах и был нанесен существенный ущерб системам жизнеобеспечения. Некоторые схожие повреждения оборудовании электрических сетей по-прежнему наблюдаются, в основном, в местах с высоким риском оползней; но в целом реагирование на чрезвычайные ситуации было значительно улучшено (Чен (Chen) 2013). Потребовалось всего 20 дней, чтобы восстановить электроснабжение во всех пострадавших сёлах, а на восстановление электроснабжения в центрах трех округов, наиболее близких к эпицентру, для восстановления потребовалось всего на 1 день больше. Продемонстрированный успех в Лушане – реакция на землетрясение и восстановление после него – стало возможным во многом благодаря находчивости центральных и провинциальных органов власти, которые обладают способностью мобилизовать большое количество человеческих и финансовых ресурсов, а также быстроте обучения во всех областях со времен землетрясения в Вэньчуани.

Землетрясение в Вэньчуани и проблемы восстановления после него является этапом китайской истории ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и управлении рисками, а также важным событием, которое изменило траекторию развития системы сети электроснабжения Китая в отношении обеспечения устойчивости энергосистемы. Несмотря на значительные улучшения, которые были достигнуты в горной провинции Сычуань, о чем свидетельствует землетрясение в Лушане, гористая природа Западного Китая, будучи основной точкой происхождения различных бедствий, формирует долгосрочную задачу, целью которой является повышение устойчивости сети электроснабжения и других систем жизнеобеспечения для миллионов семей в этом наименее развитом регионе Китая.

## Выводы.

Таким образом, мы рассмотрели основные перспективы в концепции устойчивости в различных аспектах, в том числе инженерии, экологии, психологии, экономике и социально-экологических системах, опираясь на которую мы утверждаем, что устойчивость важнейших элементов инфраструктуры систем к стихийным бедствиям, таких как электрической сети, должна включать в себя как физические возможности энергетических систем (трансформаторных подстанций, линий электропередачи и т.д.), так и организационный потенциал действующих групп людей. Кроме того, мы разработали четыре необходимые свойства для надежной системы: робастность (способность выдерживать шок), избыточность (функциональное разнообразие), изобретательность (способность мобилизации в случае нахождения под угрозой) и быстрота (способность сдерживать потери и своевременно восстановиться), а также продемонстрировали, как каждое из них может быть реализовано в контексте поддержания надежности электрических сетей и других критически важных систем инфраструктуры во все более взаимосвязанном мире, сталкиваемом с растущей частотой и интенсивностью стихийных бедствий. Мы продемонстрировали, как воспользовавшись знаниями из случившихся в 2008 и 2013 гг. землетрясений в провинции Сычуань, Китай, а также, придерживаясь рекомендуемых концепции и свойств, как может быть реализована устойчивая электрическая сеть.

## Литература.

Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related?. *Progress in human geography*, 24(3), 347-364.

Berkes, F. & Ross, H. (2013) Community resilience: toward an integrated approach, *Society and Natural Resources* 26: 5-20.

Chen, Y., & Booth, D. C. (2011). *The Wenchuan earthquake of 2008: anatomy of a disaster*. Springer Science & Business Media.

Chen, A. (2013). "On the importance of modern emergency management: Lushan Earthquake and Wechuan Earthquake (从芦山地震和汶川地震看现代应急管理的重要性)." *Science and Technology Review* 31(12): 11.

Cimellaro, G., Reinhorn, A. & Bruneau, M. (2010) Seismic resilience of a hospital system, *Structure and Infrastructure Engineering* 6(1-2), 127-144

CPNN (2015). State Grid Sichuan Electric Power Corporation raises emergency management capacity in four steps (四川电力四步骤提升应急处置保障能力). *China Power News Net*. Retrieved March 29th, 2016.

Davoudi, S. (2012) Resilience: A Bridging Concept or a Dead End, *Planning Theory and Practice* 13(2): 299-307.

Eidinger, J. (2009). Wenchuan earthquake impact to power systems. In *Proceedings of the 2009 technical council on lifeline earthquake engineering (TCLEE) conference: lifeline earthquake engineering in a multihazard environment*, Oakland, June.

Holling, C. (1973) Resilience and Stability in Ecological Systems, *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1-23.

Holling, C. (1996) Engineering Resilience Versus Ecological Resilience, *Engineering Within Ecological Constraints*, ed.: Peter Schultz, National Academy Press, Washington D.C., pp. 31-43.

Keck, M., & Sakdapolrak, P. (2013). What is social resilience? Lessons learned and ways forward. *Erdkunde*, 5-19.

RA (2015). "Resiliencia Alliance key concepts: Resilience." Retrieved March 15th, 2016, from <http://www.resalliance.org/resilience>.

Rose, A. (2007) Economic Resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions, *Environmental Hazards*. 7 (4): 383-398.

SGN (2013). Completion of the electricity network reconstruction in Wenchuan Earthquake stricken regions ("5•12"汶川地震灾区电网重建工作全面完成). *State Grid News*.

Welsh, M. (2013) Resilience and responsibility: governing uncertainty in a complex world. *The Geographical Journal*.

Xing, H., & Xu, X. (2010). M8.0 Wenchuan Earthquake (Vol. 123). Springer.

You, H. and F. Zhao (2013). Analysis of the causes of damages to power facilities in the M7.0 Lushan Earthquake (芦山7.0级地震及电力设施破坏原因分析). *Electric Power Construction* 34(8): 100-104.



## Глава 3

# Примеры существующих стратегий и инструментов предупреждения рисков.

В третьей главе представлены примеры применения передовых практик в различных сферах энергетики. Первый раздел предложен Германским Федеральным управлением по гражданской защите и оказанию помощи жертвам стихийных бедствий, посвящен предупреждению каскадных аварий в энергосистемах, происходящих по вине природных катаклизмов. Второй раздел представлен организацией GO15, объединяющей несколько магистральных сетевых операторов, которые связаны с обеспечением долгосрочной надёжности энергопоставок и краткосрочной надежностью энергетических систем. В главе также представлены две статьи. Первая предоставлена компаниями Willis Towers и Willis Re и посвящена перспективам развития страховой отрасли. Вторая описывает механизм раннего предупреждения, предлагаемый Секретариатом Энергетической хартии.

### 3.1. Национальная гражданская защита.

**Кристина Эйсмман (Christine Eismann)**

Германское Федеральное управление по гражданской защите и оказанию помощи жертвам стихийных бедствий

#### 1. Введение – В центре внимания – электрические сети.

В этом разделе подробно описано несколько успешных мер, которые были применены в Германии для предотвращения системных энергетических аварий, причиной которых являлись природные катаклизмы, а также примеры того, как такие аварии могут быть устранены. В соответствии с программой о защите Критической Инфраструктуры, Германское Федеральное управление по гражданской защите и оказанию помощи жертвам стихийных бедствий (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, BVK) уделяет особое внимание электрическим сетям, как составляющей одной из ключевых частей Критической Инфраструктуры – электроснабжения. Так как большинство других инфраструктур зависит от электросетей, авария на последних мо-

жет иметь крайне неприятные последствия для населения (Питерманн (Petermann) и др. 2010).

Самый главный вывод, который мы можем вынести из примеров – это то, что успешное антикризисное и рисковое управление не может быть реализовано только одной организацией. Ключ к успеху – это сотрудничество. Каждое заинтересованное лицо имеет свою роль. В то время, как власти занимаются вопросами защиты, инфраструктурные операторы должны заниматься снижениями рисков в рамках своей организации. Таким образом, получается, что каждое заинтересованное лицо имеет разные обязанности и зоны ответственности.

Примеры в разделе будут представлены в соответствии с четырьмя фазами интегрированного цикла рискового и антикризисного управления (см. рис. 40). Однако читатель должен запомнить, что некоторые примеры затрагивают сразу несколько фаз. Чтобы успешно бороться с рисками отказов, должны приниматься соответствующие действия во время всех четырёх фаз:

- Профилактика - уменьшение вероятности возникновения и размера возможной аварии. Принятие решений, какие риски можно на себя взять, а какие следует избегать.
- Готовность различных специализированных структур устранить аварию, которая произошла несмотря на принятые меры предупреждения.
- Минимизация длительности и охвата отключения электроэнергии, а также минимизация величины ущерба.
- Восстановление – возврат к нормальной жизни с учётом полученного опыта.

#### 2. Профилактика.

Постоянная профилактика риска аварий достигается за счёт организации управления рисками. Риски должны быть проанализированы, оценены и устранены на всех уровнях государственного и коммерческого управления. Некоторые примеры этого приведены ниже. Они были выбраны с точки зрения Гражданской Защиты. Разумеется, решения законодательной базы тоже играют немаловажную роль в профилактике рисков. Однако, они не будут рассматриваться в статье.



Рис. 40. Цикл кризисного и рискового управления.

Источник: ВВК 2012

В Германии периодические отчёты Анализа рисков в Гражданской защите Национального Уровня представляются в парламенте. В сценариях «зимний шторм» и «морской шторм» электросетевым авариям уделяется особое внимание. Чтобы не потерять причинно-следственные связи, аварии электроснабжения рассматриваются в отчёте как часть сценария. Каскадные эффекты в других критических инфраструктурах (КИ) описываются на уровне следствия (Deutscher Bundestag 2013).

Для частных и государственных организаций Германское Министерство Внутренних Дел (Bundesministerium des Innern, BМI) опубликовало Руководство по управлению рисками и кризисными ситуациями в Критических инфраструктурах (BМI 2011). Оно предоставляет всем операторам методологию выполнения структурированного анализа их собственной операционной способности, причём по отношению не только к повседневным рискам, но и к экстремальным событиям. Данный анализ также уделяет внимание уязвимостям и вопросу критичности инфраструктур, их

процессов и элементов. Операторы электросетей, которые проводят управление рисками и кризисными ситуациями в соответствии с Руководством повышают безопасность электроэнергетической инфраструктуры. Также возможно использование других методов управления рисками, например, описанных в ISO 31010 (ISO.IEC 31010:2009).

Операторы КИ, а также государственные организации, в идеале, постоянно обмениваются информацией об актуальных изысканиях в области анализа рисков с целью усиления защиты критической инфраструктуры и, следовательно, населения от опасностей. Такая стратегия сотрудничества объявлена в Германской Стратегии Критической Инфраструктуры (BМI 2009). В качестве успешного примера можно привести рабочую группу электросистем, в которой роли государственных органов (внутренних дел и экономики) и операторов распределены так, как представлено на рис. 41: власти предоставляют сценарии и цели защиты, а операторы определяют ключевые процессы и активы, нарушение работы которых может привести к большим нарушениям в

## Структура и Процессы взаимодействия между частными и государственными структурами

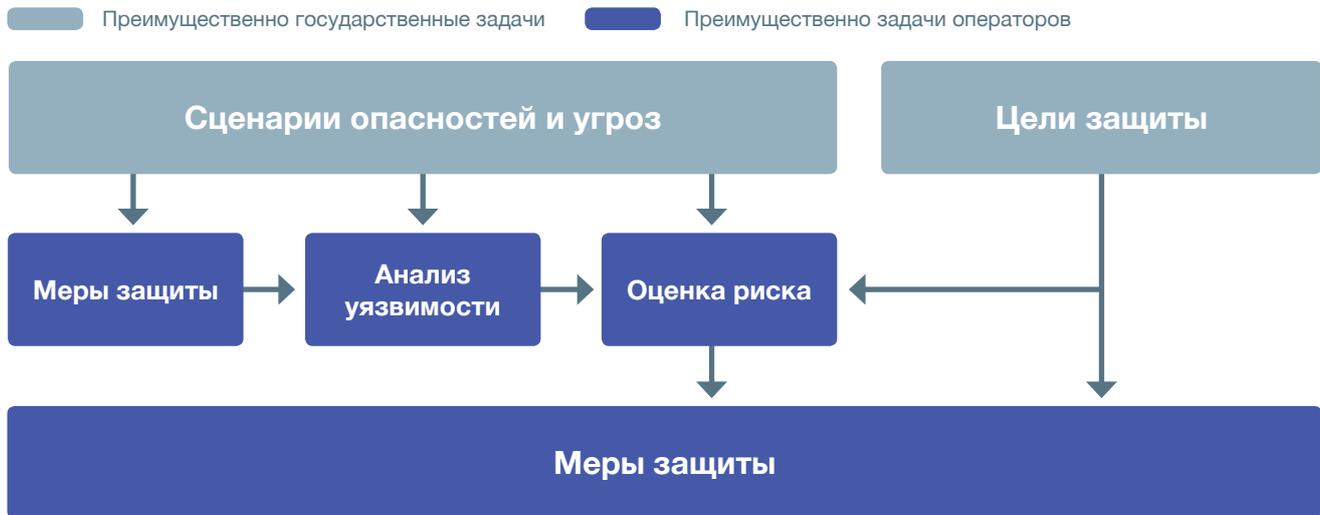


Рис. 41. Распределение задач при совместном подходе.

Источник: ВВК 2012

электропитании. Они выполняют анализ уязвимых частей в их системах, затем определяют и осуществляют меры по их защите. Ответственность за проверку эффекта от этих мер несут как операторы, так и власти.

Добровольное сотрудничество также имеет место в UP KRITIS – платформе, на которой представители частных организаций и представители власти встречаются, чтобы обсудить различные аспекты надёжности критических инфраструктур (BSI 2014). Мероприятие организуется Федеральным Агентством по информационной безопасности (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, BSI). В отраслевой Рабочей Группе по Электроэнергии обсуждаются вопросы угроз, критичности и уязвимостей.

В дополнение к совместным подходам, в случаях, когда существует необходимость в одинаковых стандартах и процедурах, требуются и соответствующие правовые акты. Примером этого процесса является новый закон об Информационной Безопасности (IT-Sicherheitsgesetz, ITSiG), который обязывает операторов критических инфраструктур сообщать о произошедших инцидентах в Федеральное Агентство по Информационной безопасности (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, BSI).

Также Критическая Инфраструктура охраняется в соответствии с Европейской Программой Защиты Критически Важных Инфраструктур (ERCIP). Для сектора электроэнергетики Директива о Европейских инфраструктурах от 2008 года была добавлена в национальное законодательство. Это означает, что операторы Европейских критических инфраструктур в Германии должны были подготовить Планы Операторской Безопасности (расширенные планы непрерывности работы) и назначить офицеров связи по вопросам безопасности (связывающих владельцев/операторов с национальным органом власти, ответственным за охрану важнейших объектов инфраструктуры).

Операторами важнейших энергетических инфраструктур являются заинтересованные лица, которые обязаны осуществлять меры по защите объектов и которые могут дать подробную информацию о вариантах совершенствования мер защиты как физических, так и организационных. Законодательные органы власти должны способствовать этому соответствующими законодательными актами. Хорошим примером является Германский федеральный закон о региональном планировании, обязывающий рассматривать критические инфраструктурные владельцами фондов (Raumordnungsgesetz). Данный акт уделяет защите жизненно важной инфраструктуры соответствующую роль в более широких процессах планирования: является ли централизация линий электропередачи, выгодной с экономической точки зрения, полезной, если начать учитывать при этом вопросы надёжности? Могут ли трансформаторные подстанции стать уязвимыми в силу своего географического положения?

Исследовательские проекты могут создавать новые способы управления рисками в вопросах перебоев питания. В рамках проекта, финансируемого Германским министерством образования и науки, участники разработали методику генерации сценариев путем комбинации опасностей и других дополнительных факторов. Примером может служить сочетание наводнения и холодов – замерзшая вода может заблокировать дороги и строения, в том числе и трансформаторные подстанции (ВВК 2014). В рамках того же проекта для примера было смоделировано землетрясение и произведена оценка риска и последствий. На основе модели смогли получить гораздо более подробную информацию об уязвимостях трансформаторных подстанций, чем было известно до этого. В результате оператор может принять более эффективные меры (ВВК 2014).

Для местных властей ВВК и Университет ООН предлагают рекомендации по сценариям, которые могут участиться в будущем в силу изменения климата. Для этого руководства «Оценка уязвимости к воздействию жары и сильных дождевых осадков на уровне сообщества» и «Оценка уязвимости к наводнениям на уровне Сообщества» содержат хороший список проверок. Они также включают информацию по теме отключений электроэнергии: например, тест «аварийная подача электропитания в случае затопления» (ВВК и UNU 2014). Еще одна директива предусматривает тесты по «оценке уязвимости муниципалитетов в случае сбоя подачи питания» (ВВК и UNU 2014). Они предназначены для властей, населения, аварийно-спасательных служб, а также операторов критически важной инфраструктуры.

### 3. Подготовительные работы.

Основой подготовки к риску возникновения аварийных ситуаций являются профилактические работы. Акцент смещается с технических и физических мер защиты в сторону планирования необходимых мощностей для решения чрезвычайных ситуаций, возникших несмотря на предпринятые профилактические меры или же в обход этих мер. Это необходимо из-за того, что не все риски могут быть снижены за счёт профилактики. Подготовка, как и предупреждение – это часть системы управления рисками.

Чтобы быть готовым, ВВК работает над противоаварийным планированием для случаев масштабных и длительных отключений электроэнергии, акцентируясь на подготовке всех заинтересованных сторон.<sup>19</sup> Цель состоит в объединении усилий всех сторон под одной согласованной концепцией. К примеру, это гарантирует хотя бы минимальный уровень энергопоставок каждому гражданину. Для того, чтобы получить общий обзор всего множества проектов, которые разрабатываются в Германской Федеральной Системе Гражданской Обороны, ВВК запустила серию семинаров.

Исследовательские проекты помогают получить хорошие практические решения для сохранения работы инфраструктур в случаях отключения электроэнергии. Примерами могут являться логистические системы, позволяющие поставить топливо в резервные энергоблоки, и решения по информированию органов антикризисного управления, а также населения. Данные темы затрагивались в таких проектах, как TankNotStrom (рус. Резервуар Аварийного Питания)<sup>20</sup> и KatastrophenschutzLeuchttürme (Маяки защиты от

стихийных бедствий)<sup>21</sup>, финансируемых Германским министерством науки и образования.

Также разрабатываются решения для ограниченного электроснабжения домохозяйств<sup>22</sup>. Используя небольшие устройства, как правило регенеративного типа, люди могут создать свой собственный источник аварийного питания, возможно принятие и других мер предосторожности (ВВК 2015a). Подобные руководства также доступны для государственных структур и юридических лиц (ВВК 2015b).

### 4. Ответная реакция.

Способность среагировать на случай крупного отключения питания напрямую зависит от степени готовности. Только методы и структуры, которые были подготовлены заранее можно будет быстро использовать в критической ситуации. Эффективность определяется тренировками и реальными ситуациями.

В 2004 году в качестве сценария для Германского межрегионального (Laender) учения по национальному Антикризисному Управлению (LÜKEX) был выбран вариант с полным отключением электроэнергии в одном из Германских регионов<sup>23</sup>. Опыт, полученный в результате этого упражнения, был отражён в Кризисном Справочнике по Блэкаутам (Krisenhandbuch Stromausfall) (ВВК, IM BW и KIT, 2010). Он содержит обширную информацию и подробные сверки по антикризисному управлению.

Фактические же каскадные аварии в Германии происходят крайне редко. Годовой перерыв подачи электропитания составляет 15–20 минут на человека. Тем не менее, было несколько длительных отключений – в результате снежной бури на севере Германии зимой 1978/1979 года и, по той же причине, в Мюнстере в ноябре 2005 года. Второй случай часто упоминается в современных проектах по чрезвычайному планированию. Тогда около 250000 человек остались без электричества на несколько дней. Благодаря хорошей кооперации групп реагирования и энергетических компаний тогда удалось отделаться только материальным ущербом. Стоит ещё заметить, что результат был достаточно благоприятным и менее разрушительным, чем, если бы этот инцидент произошёл в более густонаселённом районе. В большей мере это связано с высокой готовностью граждан к таким ситуациям (наличие продовольственных запасов, печей) (BNetzA 2006).

### 5. Восстановление.

Люди учатся на своих ошибках. Как правило, они лучше подготовлены к тем ситуациям, которые они пережили. Это правило справедливо и для случаев каскадных аварий.

Небольшие аварии, затрагивающие несколько тысяч человек в пределах одного района или города, происходят чаще,

19 Некоторые области Германии (Länder), а также некоторые отдельные страны или административные органы уже сумели выполнить детальную работу по теме и опубликовали руководства или результаты анализов. Ниже два примера: Hessisches Ministerium des Innern und für Sport (HMdIS) (2013): Rahmenempfehlungen zur Einsatzplanung des Brand- und Katastrophenschutzes bei flächendeckendem, langandauerndem Stromausfall. Доступно онлайн по ссылке <https://innen.hessen.de/sicherheit/katastrophenschutz/infothek/rahmenempfehlung-stromausfall-0>. (только на немецком языке); Regierungspräsidium Karlsruhe (2014): Musternotfallplan Stromausfall. Handlungsempfehlungen zur Vorbereitung auf einen flächendeckenden und langanhaltenden Stromausfall. Доступно онлайн по ссылке [http://www.lfs-bw.de/meldungen/aktuelles/archiv/archiv2014/Documents/2014011\\_MNP\\_Stromausfall.pdf](http://www.lfs-bw.de/meldungen/aktuelles/archiv/archiv2014/Documents/2014011_MNP_Stromausfall.pdf). (только на немецком языке).

20 <http://www.tanknotstrom.de/>

21 <http://www.kat-leuchtturm.de/>

22 <http://www.kat-leuchtturm.de/>

23 [http://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Krisenmanagement/Luekex/Vergangene\\_Uebungen/vergangene\\_uebungen\\_node.html](http://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Krisenmanagement/Luekex/Vergangene_Uebungen/vergangene_uebungen_node.html)

чем крупные. Подача электроэнергии, как правило, восстанавливается в течение нескольких часов, но иногда нарушения могут длиться день и дольше. Хотя такого рода события являются небольшими, они всё равно ложатся на плечи ответственности властей, операторов инфраструктуры, а также служб по чрезвычайным ситуациям. Города, в которых когда-либо происходили подобные отключения, как правило, более подготовлены к последствиям.

Фаза восстановления является удачной возможностью внедрить дополнительные меры защиты. Заинтересованные стороны хотели бы избежать подобного рода инцидентов в будущем, поэтому разрушенные элементы инфраструктуры восстанавливаются в новом, более защищенном варианте. После зимнего шторма в Мюнстере в 2005 году сетевые операторы объединили усилия и скорректировали требования по сооружению опор ЛЭП. Новые правила превосходят установленные ранее технические стандарты, ужесточая требования к сооружению опор, тем самым повышая их устойчивость к штормам и обледенениям. Даже многие существующие опоры должны быть модернизированы, чтобы выполнить критерии технического правила VDE-AR-N 4210-4, 2014.

## 6. Заключение.

Приведенные выше примеры, список которых далеко не полон, показывают, что проблеме аварийного отключения электропитания из-за стихийных бедствий уделяется большое внимание в Германии. Германия имеет строго федеральную систему, а это значит, что гражданская оборона состоит из множества добровольческих организаций. Однако, защита от электрических сбоев является общей задачей, которая должна решаться множеством заинтересованных сторон. Власти, частные операторы, и общественность - все должны работать вместе, чтобы эффективно защитить граждан.

Примеры также иллюстрируют широкий спектр мер по защите электрических сетей и, соответственно, защиты граждан от отключений. Различные фазы рискованного и антикризисного управления, а именно предотвращение, подготовка, реагирование и восстановление, содержат свои, специфические задачи. Они также предлагают различные решения по защите. Если выполнять все эти задачи хорошо, то можно достигнуть действительно хорошего уровня защиты.

## Литература.

BBK, IM BW, KIT (2010): Krisenhandbuch Stromausfall Baden-Württemberg. Handbuch mit Planungshilfen. Bonn. Short Version available at [http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/PublikationenKritis/Krisenhandbuch\\_Stromausfall\\_Kurzfassung\\_pdf.html](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/PublikationenKritis/Krisenhandbuch_Stromausfall_Kurzfassung_pdf.html). (German only)

BBK (2014): Stromausfall. Grundlagen und Methoden zur Reduzierung des Ausfallrisikos der Stromversorgung. Wissenschaftsforum 12. Online available at <http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/>

BBK/DE/Publikationen/Wissenschaftsforum/Bd12\_Stromausfall.pdf?\_\_blob=publicationFile,p 61. (German only)

BBK, UNU (2014): Assessing Vulnerability to Flood Events at a Community Level. Practical Experience in Civil Protection 4. Online available at [http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/EN/booklets\\_leaflets/Assessing\\_Vulnerability\\_to\\_Flood\\_Events.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/EN/booklets_leaflets/Assessing_Vulnerability_to_Flood_Events.pdf?__blob=publicationFile), pp 157-168.

BBK (2015a): Stromausfall. Vorsorge und Selbsthilfe. Online available at [http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/PublikationenKritis/Stromausfall\\_Vorsorge\\_u\\_Selbsthilfe.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/PublikationenKritis/Stromausfall_Vorsorge_u_Selbsthilfe.pdf?__blob=publicationFile). (German only)

BBK (2015b): Notstromversorgung in Unternehmen und Behörden. Praxis im Bevölkerungsschutz 13. Online available at [http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis\\_Bevölkerungsschutz/Band\\_13\\_Notstromversorgung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevölkerungsschutz/Band_13_Notstromversorgung.pdf?__blob=publicationFile). (German only)

BMI (2009): National Strategy for Critical Infrastructure Protection (CIP Strategy). Online available at [http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/598732/publicationFile/34423/kritis\\_englisch.pdf](http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/598732/publicationFile/34423/kritis_englisch.pdf)

BMI (2011): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement. Leitfaden für Unternehmen und Behörden. Online available at [http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/roschueren/2008/Leitfaden\\_Schutz\\_kritischer\\_Infrastrukturen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/roschueren/2008/Leitfaden_Schutz_kritischer_Infrastrukturen.pdf?__blob=publicationFile). (German only)

BNetzA (2006): Untersuchungsbericht über die Versorgungsstörungen im Netzgebiet des RWE im Münsterland vom 25.11.2005. Online available at [http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Berichte\\_Fallanalysen/Bericht\\_12.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Berichte_Fallanalysen/Bericht_12.pdf?__blob=publicationFile&v=2). (German only)

BSI (2014): UP KRITIS - Public-Private Partnership for Critical Infrastructure Protection. Basis and Goals. Bonn. Online available at [http://www.kritis.bund.de/SharedDocs/Downloads/Kritis/EN/UP%20KRITIS.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.kritis.bund.de/SharedDocs/Downloads/Kritis/EN/UP%20KRITIS.pdf?__blob=publicationFile).

Deutscher Bundestag (2013): Unterrichtung durch die Bundesregierung. Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2013 (Drucksache, 18/208). Online available at <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/002/1800208.pdf>. (German only)

Ibid., pp 155-176.

ISO.IEC 31010:2009 – Risk management – Risk assessment techniques.

Petermann T, Bradke H, Lüllmann A, Poetzsch M, Riehm U (2010). Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung. Endbericht zum TA-Projekt (Arbeitsbericht, Nr. 141). Online available at <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab141.pdf>. (German only)

Raumordnungsgesetz (ROG) §2 (2) Sentence 3, available at <https://dejure.org/gesetze/ROG>. (German only)

VDE-AR-N 4210-4 (2014): Anforderungen an die Zuverlässigkeit bestehender Stützpunkte von Freileitungen. Online available at <https://www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/seiten/n4210-4.aspx>.

## 3.2. GO15

Хьюберт Лемменс (Hubert Lemmens),  
Терри Бостон (Terry Boston), Алан  
Стивен (Alain Steven)

GO15

### Введение.

С дальнейшим ростом населения, экономического развития и доли электроэнергии на энергетическом рынке, спрос на неё, как ожидается, повысится в 2 раза в ближайшие 15 лет. В силу использования новых технологий ущерба, связанные с отключением электроэнергии, будут расти. В дополнение ко всему, системные аварии требуют не только технического, но и политического внимания. В последние десятилетия самыми распространёнными причинами отключений были природные явления, ошибки операторов, ошибки систем связи и управления, ошибки проектирования, отказы оборудования.

Нововведенные экологические ограничения, которые затрудняют строительство традиционных электростанций и линий электропередачи, негативно отразились на производительности энергосистем. Совсем недавно электрические сети, равно как физические и логические сети, подвергались влиянию стихийных бедствий и угроз со стороны агрессоров; все сети имеют уязвимости, которые тяжело избежать. Смотрите отчёт, опубликованный Управлением по оценке технологий Конгресса США «Физические уязвимости электросетей к стихийным бедствиям и саботажу». Дополнительно в этом докладе затронут вопрос стоимости убытков от аварий, они оцениваются в диапазоне \$1-\$5 за один недополученный кВт.ч, в зависимости от продолжительности простоя затронутых получателей и времени суток.

Уязвимость энергосистем значительно возросла в последние годы, этому способствовали: резкое увеличение межрегиональных передач электроэнергии, заставляющих системы работать на пределе своих возможностей; рост числа так называемых «узких мест» в электросетях; новые экологические ограничения, приводящие к ограничениям при строительстве новых объектов передачи электроэнергии и гидроэлектростанций (в основном с резервуарами); интеграция с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), заменяющими традиционную тепловую генерацию. Сегодня Европа сталкивается с фундаментальной проблемой перехода от крупномасштабной системы с предсказуемой мощностью, состоящей из централизованных узлов генерации, к системе, в которой генерирующие мощности становятся децентрализованными и непостоянными.

Без сомнения, в настоящее время фундаментальный сдвиг в структуре генерации базовой нагрузки очень серьезно влияет на индустрию электроэнергии. Например, низкие цена на газ и его обилие в сочетании с жесткой экологической политикой в США сильно повлияли на переход с угольных на газовые электростанции. Удаленность генераторов электроэнергии от потребителей приводит к увеличению маги-

стрального потока мощности, новые блоки со слабым контролем и т.д., всё это влияет на надёжность и безопасность электроснабжения.

В последние годы появились новые проблемы, негативно влияющие на производительность системы энергоснабжения. Это увеличение числа стихийных бедствий, кибератак и актов вандализма. Важно отметить, что все угрозы безопасности исходили либо от самих сетей электропитания, либо через системы связи и информационные системы. Рассматривая класс стихийных бедствий, было замечено, что знойных дней стало больше, и они стали жарче, число ливневых дождей увеличилось, а зимние штормы участились и усилились. И такие события составляют основную долю причин отключения электроэнергии. Растущее число природных катаклизмов может привести к разрушению инфраструктуры с далеко идущими последствиями. В некоторых странах распространены акты вандализма, связанные с воровством, когда вырезают кабели или провода линий электропередачи, провоцируя неисправности на этих линиях. Резкое увеличение кибератак на энергетику, наряду с распространением вычислительных устройств в этой области для поддержки инициатив Smart Grid требует переосмысления политики кибербезопасности.

Системные операторы сталкиваются с беспрецедентными вызовами в вопросах защиты своих предприятий: террористы, враждебные государства, криминал, стихийные бедствия. И хотя на сегодня физические атаки и кибератаки не привели к серьёзным отключениям, некоторые меры всё же должны быть приняты в условиях всё более сложных и частых нападений. Нам нужно понять и принять эту реальность и принять контрмеры для обеспечения надёжности энергосистемы.

В настоящем сообщении основное внимание будет уделено проблемам, вызываемым неблагоприятными погодными условиями, а также будут предложены меры для минимизации последствий от них. Предлагаемые меры по исправлению также могут помочь бороться с другими непредвиденными обстоятельствами различных причин происхождения. Восстановление работы системы электропередач для распределительных сетей может занимать от нескольких часов до нескольких дней или даже недель в зависимости от тяжести аварии и повреждений энергосистемы и инфраструктуры. А негодование потребителей возрастает с увеличением времени восстановления.

### Понимание перемен.

Трудно себе представить современное общество без энергосистемы, способной надёжно, экономически эффективно и действительно обеспечить электроэнергией. Существует тенденция ко всё большему и большему её потреблению. Таким образом, инфраструктуре электроэнергии придётся столкнуться с новыми проблемами.

Проблемы, про которые мы говорим, знакомы каждому, кто связан с модернизацией инфраструктуры электросети: кибербезопасность, интеграция возобновляемых источни-

## Базовая структура электрической системы



Рис. 42. Базовая структура электрической системы.

Источник: US DOE, дополненный авторами

ков энергии, пробелы в стандартах, согласование стандартов, вовлеченность потребителей, транзактивная электроэнергия.

И это только часть проблем. Предполагая, что угрозы продолжают расти в краткосрочной перспективе, система надёжности электроснабжения может ухудшиться. Будущее атомной генерации также вызывает некоторую неопределенность.

Вполне естественно, что общество ожидает повышение надёжности и сокращение времени восстановления. Эти давления значительно увеличивают стоимость коммунальных услуг. Под критическим взглядом регуляторов и потребителей мы должны спросить, лучше ли в настоящее время инфраструктура подготовлена к экстремальным погодным условиям, чем это было раньше?

Например, супершторм Сэнди прервал питание у почти двух миллионов клиентов электрокомпании PSE & G (Public Service Enterprise Group, Нью-Джерси), в общей сложности на 164 миллионов часов. Водой от урагана Ирен и Сэнди подтоплено 29 подстанций.

Местное руководство хорошо помнит то, что происходило после урагана Ирен и супершторма Сэнди. Поэтому они знают стоимость длительных отключений электроэнергии и ожидают увидеть предпринятые меры по защите от следующего шторма.

В результате рекордного числа штормов, произошедших с 2011 года, особенно на Северо-Востоке США, обострилось

внимание общества к вопросам предоставления коммунальных услуг, а также на их способность реагировать на чрезвычайные ситуации. Миллиарды долларов были потрачены в борьбе с перебоями в подаче электроэнергии и дефицита, произошедших из-за низких температур в 2015-2016 году. Потребители задаются вопросом, что следует ожидать от погоды в дальнейшем и будут ли их местные энергетические компании к этому готовы. В Европе Марос Шефчович, вице-президент Европейской комиссии и ответственный энергетического союза в 28-национальном блоке ЕС, 1 апреля 2015 года объявил, что Европейская комиссия планирует ввести стресс-тесты для энергетического сектора, начиная с 2016 года по линии деятельности, осуществляемой в газовом секторе ЕС. Это своеобразный ключ для понимания новой реальности, где должны быть приняты экономически эффективные меры обеспечения безопасности системы питания.

### Долгосрочная надёжность снабжения.

Как в целом, так и на уровне всей энергосистемы долгосрочная надёжность зависит от: бесперебойных поставок топлива; балансовой надёжности на региональном уровне с учётом резервов для обслуживания и незапланированных отключений; надёжности сетей, их пропускной способности для возможности передачи мощности. Устойчивость к воздействию физических угроз и избыточность инфраструктуры являются ключевыми элементами устойчивости системы. Безопасность поставок также зависит от наблюдаемости в реальном времени и управляемости ресурсами (ENTSO-E 2012).

В то время как инвестиции в генерирующий сектор, как правило, делаются участниками рынка и выполняются, исходя



Рис. 43. Концепция устойчивости.

Источник: PJM

из сугубо экономических принципов, инвестиции в электросети производятся регулируемой монополией и должны отвечать критериям надёжности (ENTSO-E Десятилетний план развития электросетей). Согласно этим критериям линии электропередачи разрабатываются с запасом (критерий N-1), однако общие сбои режимов при этом не рассматриваются. Критерий N-2 используется только в специфических случаях.

### Краткосрочная надёжность энергетической системы.

Если мы говорим о краткосрочной надёжности энергосистемы, мы должны рассматривать различные угрозы:

- Неудачи в распределительных сетях, которые в целом не являются избыточными по конструкции, а это означает, что одна неудача будет восприниматься потребителем как прерывания питания.
- «Эксперименты» из критерия планирования: сбои, которые по экономическим причинам не могут быть приняты во внимание при планировании сетей. Пример – несколько одновременных сбоев.
- Задержка в хронограмме магистрального коридора.
- Старение активов: текущая производительность актива и его разница с начальными проектными требованиями.
- Человеческие ошибки, вызванные, к примеру, недостаточной информацией, неверным пониманием ситуации или принятием некорректных решений или же необратимым вмешательством в систему.
- Ошибки прогнозирования для возобновляемых энергоресурсов.
- Комбинация вышеперечисленных проблем.

Помимо внутренних угроз возникают и внешние, это: суровые погодные условия, кибератаки, террористические акты, направленные на объекты энергетической инфраструктуры. В настоящее время они считаются наиболее серьезными и трудными с точки зрения управления рисками в надёжном энергоснабжении.

### Метрика.

Для измерения качества энергоснабжения было выявлено несколько критических показателей эффективности (CPIs).

Ниже перечислены некоторые из наиболее часто используемых:

- Число пострадавших потребителей
- Площадь аварии
- Среднее время восстановления нагрузки
- Среднее время сбоя (AIT): среднее время, в течение которого потребитель не получил электроэнергию за год по причинам сбоев
- Индекс средней продолжительности прерываний работы системы (SAIDI): время в течение которого потребитель не получал электроэнергию за заданный год при равномерном распределении отключений на всех потребителей.

SAIDI является мерой частоты и продолжительности прерывов, в то время как AIT делает акцент на влияние сбоев питания.

### Повышение устойчивости.

Рис. 43 демонстрирует реакцию участников GO15 к тяжёлым событиям и их поддержку со стороны организации в вопросе повышения устойчивости к внешним событиям сетей. Реагирование включает в себя несколько блоков, которые называются соответственно «до события», «во время события», «после события».

**До события:** дилемма стоимости-надёжности или стоимостный компромисс. Существует необходимость повышения устойчивости магистрального оборудования, чтобы оно могло сохранять надёжность работы в более широком диапазоне изменений условий окружающей среды. Затраты капитала на такой шаг, вероятно, будут очень высокими. Более, в силу того, что мы имеем дело с относительно редкими событиями, будет очень трудно оправдать масштабные проекты. Тем не менее, небольшие проекты для решения этих проблем всё же могут быть оправданы. Членами GO15 была разработана обобщённая модель для того, чтобы обмениваться опытом и проводить сравнительный анализ на уровне проектных критериев. Тем не менее, никакие общие стандарты не предлагаются в силу больших различий в граничных условиях различных энергетических систем.

**Во время события:** когда прогнозируются опасные природные явления, управление системой переходит в более без-

опасный режим, чем обычно. Если риски высоки, то такие меры оправданны. Если же система становится неустойчивой, то операторы переходят в режим «План защиты», чтобы вернуть систему в стабильное состояние. К основным мерам относятся такие меры как: сброс нагрузки, сброс генерации и секционирование.

**После события:** после стабилизации (может быть во время каскадной аварии) активируется «План восстановления» - это системный подход к восстановлению обеспечения потерянной нагрузки и снижению продолжительности влияний. В случае серьёзного повреждения объектов инфраструктуры восстановление может занять от нескольких дней до нескольких недель – развёртывание плана аварийного восстановления, координирование оперативных групп, внешних подрядчиков, проведение консультаций с органами государственной власти, установка приоритетов и связей. GO15 предлагает два вспомогательных инструмента: сеть кризисных коммуникаций и протокол связи, которые созданы, чтобы помочь членам организации сориентироваться и понять, что происходит в другой системе, а также концепцию взаимопомощи, позволяющую одним членам организации предоставлять другим помощь в случае возникновения чрезвычайной ситуации и серьёзных повреждений объектов инфраструктуры.

**Изучение опыта:** база данных исследований тяжёлых аварий системы, доступная другим пользователям для возможности их обучения по различным инцидентам.

### Концепция взаимопомощи.

Благодаря обмену опытом по операционной деятельности и передовой практике, возможности быстро реагировать на внештатные ситуации электросетевых операторов по всему миру значительно возросли. В случае обширного повреждения электросетевых объектов восстановительные работы значительно ускоряются за счёт получения запасного оборудования и ресурсов от соседних операторов. Для поддержки этих отношений в GO15 разработали концепцию взаимопомощи. Целью концепции является ускорение восстановления после серьёзных потерь мощности, с одной стороны с помощью обмена опытом, с другой стороны, с помощью содействия и доступа к запасным частям и к рабочей силе другого оператора.

Концепция включает в себя подписание договора, который определяет условия такой помощи, библиотеку докладов о решении предыдущих инцидентов и руководство, которое содержит контакты экспертов, которые могут предложить консультационную помощь по конкретным вопросам, инцидентам.

Протокол о взаимопомощи выражает стремление членов GO15 к сотрудничеству и включает в себя шаблон договора. Этот шаблон поможет избежать длительных переговоров об условиях договора в случаях, когда требуется срочная помощь. Библиотека представляет собой отчеты о прошлых инцидентах всех членов GO15, включая информацию о том, как они были обработаны, анализ основных причин и реко-

мендации. Кроме того, публикации об угрозах для безопасной эксплуатации электрических сетей, которые касаются всех, являются общедоступными.

Руководство является практическим инструментом, который проводит перепись специалистов из числа членов организации, а также инвентаризирует доступные запасные части. Таким образом, руководство помогает участникам договора определить подходящие компании из списка GO15 и подходящих сотрудников внутри компаний для решения их чрезвычайных проблем.

Как известно, в случае серьёзного кризиса взаимодействие имеет первостепенную роль. Таким образом, концепция представляет собой Сеть Кризисных Коммуникаций. Члены GO15 приняли руководство по обмену информацией с целью согласования мер поддержки и создания эффективной коммуникации между членами договора в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

## 3.3. Индустрия страхования.

Бриджит Бальтазар (Brigitte Balthasar),  
Торольф Хамм (Torolf Hamm), Марк  
Лехманн (Marc Lehmann)

Willis Towers Watson и Willis Re

Электроэнергетическая инфраструктура, в частности электрические сети, является одной из важнейших и жизненно важных инфраструктур, от которой зависят многие другие критические инфраструктуры. Как мы видели на протяжении уже многих лет, низкие частоты, тяжёлые ударные события, такие как природные явления могут привести к значительному повреждению имущества и прервать работу критически-важной инфраструктуры. Такие события как землетрясения, бури или наводнения влияют на способность обеспечивать население жизненно важными поставками электроэнергии. Разрушение этой инфраструктуры может повлечь серьёзное влияние на национальную безопасность и экономику. Такого рода катаклизмы происходят не только в наиболее подверженных стихиям регионах по всему миру. Мы стали свидетелями ущерба и разрушений, вызванными штормами, такими как Дезмонд (декабрь 2015 г.) и Имоджен / Рузика (февраль 2016 г.), которые привели к повреждению ЛЭП, подтоплению подстанций в различных районах Великобритании и ЕС, что привело к длительному отключению электричества во многих домашних хозяйствах и предприятиях.

Перенос риска на страховые компании является частью управления финансовыми рисками. Страхование – это механизм распределения рисков на большой промежуток вре-

мени, на большие группы и географические районы. Тем не менее, это не смягчает или не уменьшает потенциальные последствия от стихийных бедствий или вероятность их возникновения. У страховых компаний есть огромные знания и опыт в деле выявления, анализа и моделирования рисков, которыми можно воспользоваться при условии заключения сделки. Это позволит застрахованному лучше понять возможные риски и поможет ему в разработке дальнейших стратегий по их снижению, а также подходов к их управлению. Что касается электрических сетей, то нужно иметь в виду, что владельцы объектов сетевой инфраструктуры не подвергаются напрямую воздействию всех издержек, понесенных потребителями из-за аварии, вызванной стихийными бедствиями. Таким образом, потери, понесенные физическими лицами и компаниями в результате отключения электроэнергии, могут быть значительно выше, чем затраты на ремонт поврежденных объектов электроэнергетической инфраструктуры.

Эта статья предлагает несколько возможных концепций и методологий управления рисками «до события», которые призваны помочь владельцам энергетических сетей оценить возможные воздействия, стоимость потерь или простоев, а также рассмотреть хорошие практические решения по снижению рисков. Мы кратко рассмотрим наиболее часто встречающиеся уязвимости электроэнергетических сетей к различным опасностям, расскажем о нашем опыте оценки их устойчивости к природным явлениям, а также о нынешних инструментах и методах оценки риска, используемых для оценки общей устойчивости системы передачи и распределения электроэнергии. В этом разделе будет описана некоторая информация о супершторме Сэнди. С учетом эволюции риска, прогнозы будут сопровождаться некоторыми заключительными комментариями.

Электроэнергия является важнейшим ресурсом для многих критических услуг (например, вода, газ, связь, интернет и прочее) и другие инфраструктуры зависят от её непрерывного и нормального функционирования. В то же время электрические сети продолжают превращаться в большую и технически сложную систему с огромным географическим распространением. С этим, в свою очередь, связан рост влияния стихийных бедствий. Само их возникновение и влияние на сети электропередачи были и остаются в центре внимания многих стран по всему миру, так как это необходимо для повышения устойчивости этих систем инфраструктуры, особенно в свете новых тенденций, таких как изменение климата. Устойчивость напрямую зависит от оборудования, строительных норм, технологий, но в ещё большей степени от организации и стандартизированной готовности к чрезвычайным ситуациям компаний электроэнергетики.

Согласно докладу (секретариат кабинета министров 2011) энергетический сектор Великобритании под руководством Ассоциации энергетических сетей (ECA) подготовил Инженерно-технический отчёт, посвященный сопротивляемости наводнениям Электросетей и Первичных подстанций (ETR 138). Отчёт описывает риск-ориентированные подходы к наводнениям, а также методы повышения устойчивости ра-

боты там, где это технически и экономически осуществимо. Индустрия передачи и распределения электроэнергии изложила целевые уровни (стандарты) устойчивости для различного оборудования в пределах своего сектора, которые включают в себя цель: 0,1% вероятности наводнения за год для наиболее важных объектов в рамках их национальной критической инфраструктуры. Другие меры по повышению устойчивости подразумевают переподраспределение с традиционных или предоставление потребителям альтернативных источников энергии. Эта модель сотрудничества в разработке стандартов будет развёрнута в дальнейшем для оценки других опасностей в энергетическом секторе.

## Объектные и операционные уязвимости электрических сетей.

Природные опасности, включая землетрясения, тропические штормы, торнадо, наводнения и сильные грозы, могут стать причиной каскадных аварий. Каждый тип опасности может по-своему отразиться на энергетических системах. Например, землетрясения могут повредить все типы объектов энергетических систем и с большой вероятностью стать причиной отключения электроэнергии на более чем несколько дней. Другие явления, такие как штормы, наибольший урон наносят магистральным воздушным линиям электропередачи и локальным линиям распределения, в то время как обширные наводнения могут повлиять на низкорасположенное оборудование генерации, что приводит к потерям от прерывания производства электроэнергии. Торнадо и сильные грозы также могут повлиять на работу линий передачи и распределения из-за удара молнии или порыва ветра, включая упавшие на провода деревья и другие объекты. Зимние штормы могут являться причиной возникновения гололёда на высоковольтных проводах, что в совокупности с сильными порывами ветра и новообразовавшимся весом приводит к их обрыву.

Если рассматривать вопрос с точки зрения землетрясений, то следует отметить, что рост номинального напряжения передачи электроэнергии на протяжении многих лет привело к увеличению числа оборудования на подстанциях, размер и вес которых делает их уязвимыми к боковым сейсмическим нагрузкам. Повышенная подверженность к повреждениям обусловлена двумя основными факторами: 1) падение в частоте и вибрации в более низкую и более тяжёлую область характеристик диапазона сейсмических частот, которая продуцирует усиление сейсмических сил в оборудовании (резонансный эффект) и 2) присущие структурные недостатки, в частности ломкая и слабо распространяющая энергию структура изоляционных материалов, таких как фарфор в оборудовании, используемом, например, на подстанциях 230 и 500 кВ. Также тяжелые, неустойчивые выключатели и трансформаторы могут быть подвержены к скольжению и падению в результате сильных движений грунта. В то время как магистральные линии, опоры ЛЭП являются менее восприимчивыми к колебаниям в силу их гибкости, хотя всё же существует вероятность их повреждения в случае возникновения оползней или других движений породы. Детальный анализ грунта, крепкий фундамент

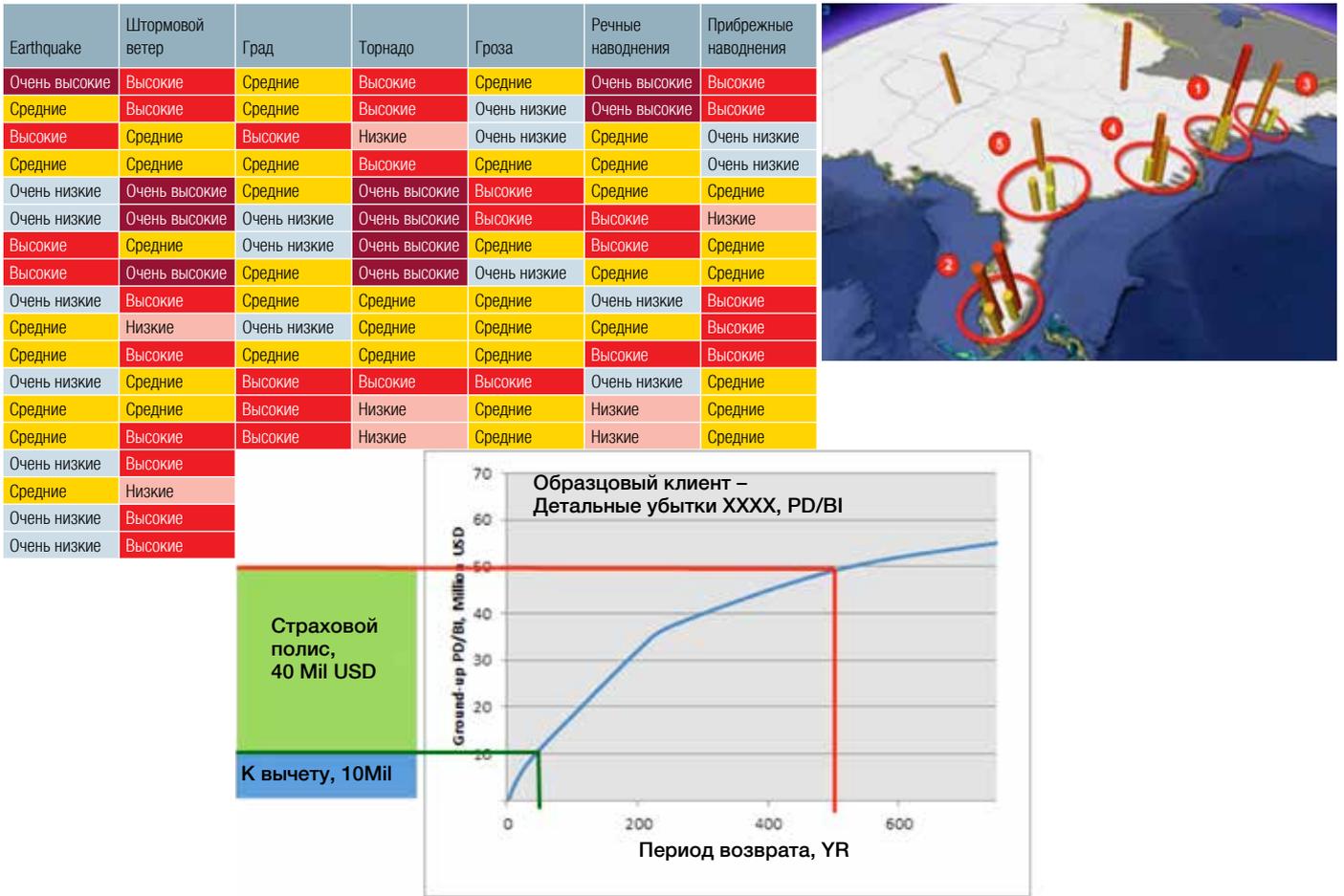


Рис. 44. Результаты образцового анализа.

Источник: Авторы

конструкции, а также периодические проверки уже построенных сооружений крайне важны в поддержании безопасности систем, как на этапе строительства, так и на этапе их технического обслуживания.

Разнообразие влияний может быть связано с тем, что системы генерации и передачи состоят из крупных сгруппированных элементов, расположенных на небольшой площади, в то время как география распределительных объектов распространяется на очень широкие территории. В целом говоря, то, какие меры по снижению риска и структуры управления рисками применить, в значительной мере зависит от характера опасности, а также от месторасположения объекта.

### Управление природными опасностями.

Как часть одной из ведущих мировых организаций в сфере управления рисками и страхового посредничества сотрудники SRC (консалтинга по вопросам стратегического управления рисками) из Willis Towers Watson оказывают широкий спектр консультационных услуг по вопросам риска катастроф, чтобы помочь энергоснабжающим компаниям лучше понять и оценить их подверженность рискам природных опасностей в периоды их проявлений и для оказания помощи в принятии более обоснованных решений для поддержки их оперативного управления рисками, заказа страхового полиса и смягчения последствий.

- Методология изложена для решения вопросов, которые мы часто слышим от наших клиентов. Для Электрических Сетей, например, это:
- Каким опасностям подвергаются наши операции на локальном, региональном и глобальном уровнях?
- С какими возможными убытками и срывами мы можем столкнуться в случае возникновения крупного стихийного бедствия?
- Могут ли в результате одного события быть затронуты несколько ключевых объектов или частей электросети?
- Какие варианты методов смягчения рисков мы можем использовать для уменьшения нашей подверженности им?

Благодаря этому мы принимаем всестороннюю концепцию Управления рисками, вызванными природными катаклизмами, используя подход сверху вниз, чтобы помочь идентифицировать, оценить и управлять рисками, вызванными природными условиями в масштабе предприятия:

Подробный обзор рисков природных воздействий для электросетей на глобальном, региональном и частном базисе помогает сформировать свою стратегию управления рисками природных катаклизмов.

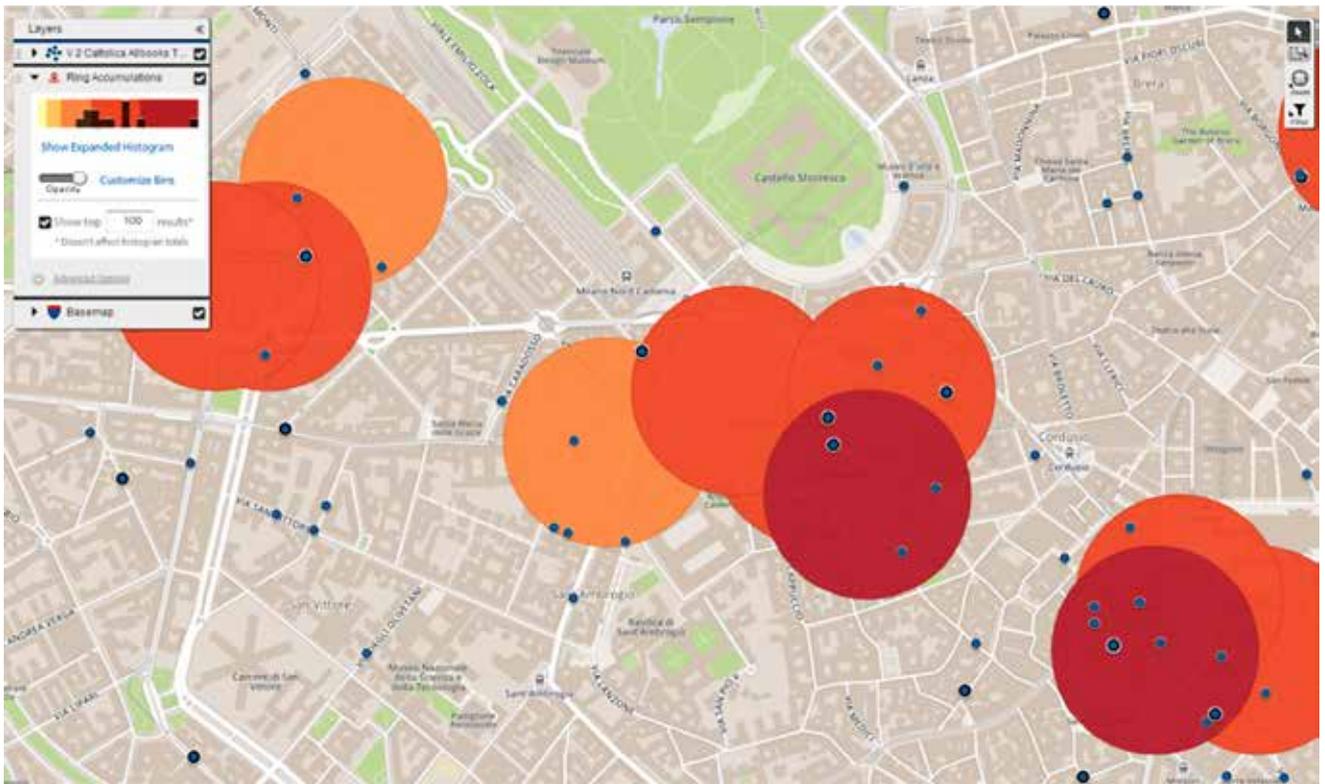


Рис. 45. Накопленный анализ для моделирования регулятора или пожарный анализ для риска терроризма.

Источник: Авторы

Моделирование природных катаклизмов для оценки ожидаемых потерь и возможных простоев электросети и определить какие конкретные компоненты управляют рисками в зависимости от опасности и региона.

Инженерные оценки риска и обследования частей для отдельных объектов, имеющих высокую ценность и стратегическое значение. Подробные оценки возможного материального ущерба и простоя производства в результате крупного природного явления. Предоставление рекомендаций по уменьшению уязвимости перед рисками и повышению устойчивости непрерывности работы объекта.

Надёжность электрических сетей перед лицом природных опасностей можно оценить, используя комбинацию геопространственного картирования и вероятностных методов моделирования, чтобы помочь классифицировать и оценить их риски в рамках системы. Геопространственное картирование на основе точных данных о месторасположении может определить активы и представить их в ясной визуальной форме для идентификации компонентов сети, которые имеют более высокие риски, чем другие. В свою очередь, это может помочь организациям сформировать соответствующую стратегию для управления этими рисками.

Ниже показаны некоторые образцы данного типа анализа (рис. 44). На изображении слева показана «Тепловая матрица» или матрица опасностей, где мы можем оценить, какие элементы подвергаются какому типу опасности и в какой степени (красный – «Очень высокая» опасность, зелёная – «Очень низкая»). Справа, с помощью такого инструмента,

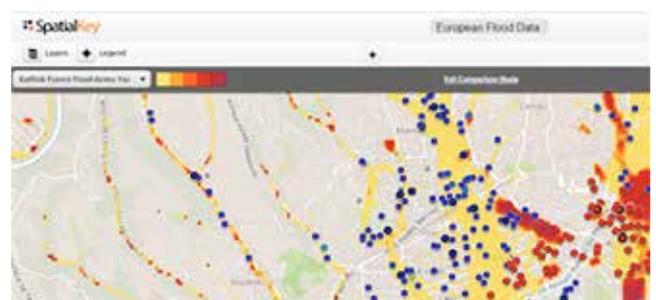


Рис. 46. Определение зон пиковой подверженности.

Источник: Авторы

как Google Планета Земля можно картографически визуализировать месторасположения объектов, их относительные значения (высота столбцов гистограммы) и определить возможные кластеры. В нижней части изображен пример графического моделирования катастрофы, который представляет собой кривую потерь относительно примера страховой программы. Такой график часто используется для оценки при условии, что подходящая страховая программа покрытия подходит для защиты активов от природных опасностей.

Количественное моделирование катастрофы может показать влияние на систему широкого спектра возможных опасных природных явлений, таких как землетрясения или ураганы и, в частности, редко происходящих экстремальных явлений, которые имеют максимальное влияние на работу сетей. Эти модели также могут учитывать тип сооружения, его возраст и размер основных фондов для имитации уяз-

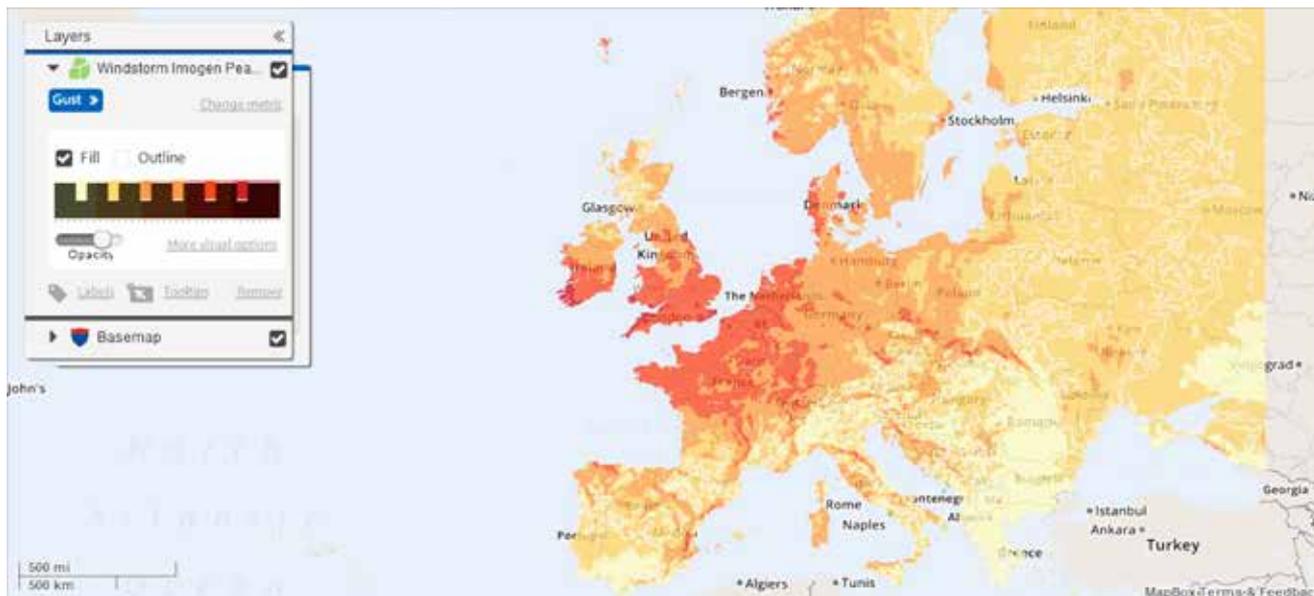


Рис. 47. Разработка сценариев в местах фактических бедствий или постсобытийные вычисления.

Источник: Авторы



Рис. 48. Инженерный обзор CAT риска и оценка PML.

Источник: авторы

вместе по отношению к заданной опасности. Результат работы модели, как правило, содержит оценку материального ущерба и оценку потерь простоя производства, помогая сетевым операторам обратить своё внимание на то, где может потребоваться обновление или дополнительное резервирование. Кроме того, результат моделирования помогает принять решения относительно преобразования и смягчения рисков.

Для того, чтобы помочь своим клиентам, Willis Re разработал своё собственное представление о риске катастроф для всех основных опасностей и территорий по всему миру. Эти модели представляют собой сложные инструменты количественной оценки рисков, которые основаны на обширном научном анализе. Но бывает, что несмотря на используемые методы, появились непредвиденные последствия после того, как произошло серьезное событие. Willis Re занимается исследованием до полного понимания того, что не было учтено в этих моделях и как учесть сложности и неопределённости в моделировании риска катастроф в будущем. Это позволяет нашим клиентам точнее понимать, взаимодействовать и эффективно уменьшать свои риски.

Для того, чтобы поддерживать и постоянно улучшать это представление, команды профессионалов работают в тесном взаимодействии с обширными ресурсами Научно-Исследовательской сети Willis Re<sup>24</sup>. С учётом специфики месторасположения и возможных воздействий электроэнергетических сетей и поставщиков электроэнергии нужно работать с использованием диапазона моделей и комплекса научных взглядов, чтобы установить, что их видение риска является обоснованным. Геопространственная визуализация в сочетании с моделированием катаклизмов, используя такие инструменты как Spatial Key открывает мир эффективного управления воздействиями и рентабельностью с помощью использования анализа территориально-основанного сценария, также, как и использования мониторинга в режиме реального времени и послесобытийного сообщения.

<sup>24</sup> Научная сеть Willis – это самая большая страховая сеть среди академических институтов. Она оперирует со всем спектром рисков, начиная от природных катаклизмов и заканчивая вопросами правовой ответственности, финансовых вопросов и вопросов безопасности, связанных с ведущими темами: Устойчивость; Безопасность и Устойчивый рост; Экстремальное управление; Управление рисками и страховое управление; Освоение моделируемого мира.

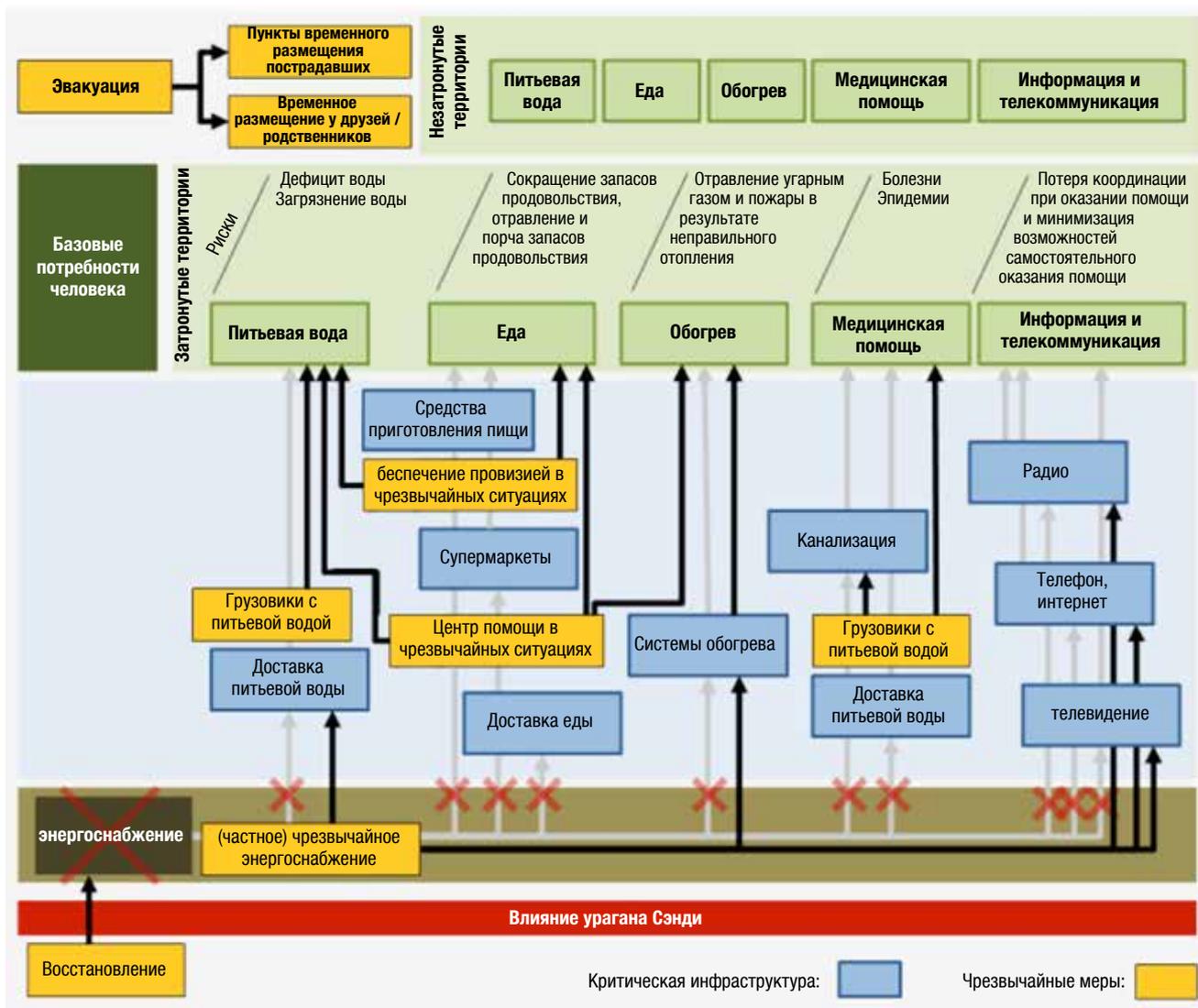


Рис. 49. Приблизительная случайная диаграмма/поток отображающая основные результаты обширных энергетических отказов в основных человеческих нуждах и возможные чрезвычайные меры во избежание будущих рисков.

Источник: CEDIM

## Инженерные оценки САТ рисков

Для отдельных, высоко ценных и стратегического уровня объектов, таких как главные подстанции или гидроэлектростанции, сделанный на заказ детальный подход может оказаться более выгодным. Эта оценка обычно включает в себя детальную целостную оценку и/или физический осмотр объекта инженером по природным опасностям для оценки уязвимостей и улучшения понимания того, какие режимы отказа и связанные с ними возможные убытки (PML), а также методы повышают риски отказа. Если речь идёт о землетрясениях, то внимание смещается в сторону проверки прочности и устойчивости фундаментов и креплений критически важного оборудования, такого как трансформаторы и генераторы, а для наводнений внимание сосредотачивается на возможности попадания потоков воды на территорию и на уровне установки восприимчивого к воде электрооборудования, такого как распределительные устройства и шкафы управления.

## Исследование события: Ураган Сэнди.

В дополнение к оценкам риска природных катастроф и моделированию, научные исследования являются еще одним ключом к оценке и пониманию риска. Таким образом, тесное сотрудничество между страховыми компаниями и исследовательскими организациями гарантирует, что понимание риска будет сохраняться и поддерживаться на самом высоком уровне. Ниже приводится заключение постсобытийного доклада и выводы по урагану Сэнди, как они были описаны 6 ноября 2012 года, где члены службы управления катастрофами Willis Re провели оценку последствий на местах, а ученый д-р Майкл Кунц (Dr. Michael Kunz) из Исследовательской Сети Willis вместе со своими коллегами из Центра по Управлению чрезвычайными ситуациями и Технологиям снижения риска, Карлруэского технологического института в Германии изучили прямое и косвенное влияние урагана Сэнди на бизнес. Это общедоступное исследование помогает лучше понять поведение электросистемы в случае

катастрофического события и сделать выводы о социальных и экономических последствиях.

Тропический циклон Сэнди представлял собой штормовую систему с особыми метеорологическими характеристиками и стал причиной значительного ущерба от Карибского моря до Восточного побережья США. В прибрежных регионах США, особенно в Нью-Йорке, Нью-Джерси и Пенсильвании Сэнди привёл к относительно высокому числу погибших в сравнении с другими происшедшими событиями. Сбои в работе критических инфраструктур (электричество, транспорт), как известно, приводят к большому количеству косвенных убытков. Влияние Сэнди, учитывая долгосрочные перспективы, трудно оценивать из-за сложных взаимосвязей между социально-экономическими и техническими системами.

В большинстве пострадавших регионов, где отключалась электроэнергия, она была успешно восстановлена после нескольких аварий. О перебоях в электроснабжении сообщили в понедельник 29-го октября и во вторник 30-го в 14-ти северо-восточных штатах, в результате без света осталось около 8,7 миллионов потребителей (из них около 2,51 млн. семей). Через неделю после шторма – 5-го ноября около 1,3 миллиона человек по-прежнему оставались без света. Ураган подверг испытаниям как энергокомпании во время восстановительных работ, так и людей, оставшихся без энергии.

Прямой и косвенный ущерб, полученный в результате каскадной аварии, вызванной ураганом Сэнди, можно приблизительно сравнить с аналогичными событиями, произошедшими в прошлом (например, в 2003 году каскадная авария на северо-востоке нанесла ущерб в размере около 6,3 миллиарда долларов, а в 2005 авария, вызвавшая отключение электроэнергии на 1 день обошлась в 5,6 миллиардов долларов, исходя из величины ВВП на душу населения, умноженную на число пострадавших людей). Используя аналогичный подход при расчёте ущерба, нанесённого ураганом Сэнди, мы получим около 2,6 миллиарда долларов ущерба за первый день и 14,4 миллиарда за остальные 10 дней аварии (используется величина ВВП на душу населения в день, что составляет 132,72 доллара<sup>25</sup>, и линейная функция изменения числа пострадавших, в которой 20 миллионов человек было затронуто в первый день аварии в понедельник 29 октября и 2 миллиона в среду – 7 сентября). Эта линейная функция хорошо коррелируется с числом людей, заявивших об отключении энергии. Хотя, тем не менее, в конце десятидневки значения немного расходятся в большую сторону.

В целом было отмечено, что Сэнди стал причиной серьёзных структурных повреждений зданий и сооружений в результате ветра и вызванных им наводнений на обследованных территориях. Повреждения зданий варьировались от умеренных до полного разрушения. Как правило, повреж-

дения зданий из-за прямого воздействия ветра практически не наблюдалось. Значительная часть повреждений была связана с падением деревьев и летающими обломками.

## Непредвиденное обстоятельство и планирование внештатной реакции.

В дополнение к определению и оценке потенциальных рисков от стихийных бедствий существует другое требование для обеспечения устойчивости сети – установить ясные планы действий в случае возникновения нештатной или чрезвычайной ситуации. В зависимости от ожидаемой опасности, процедуры и требования для обработки нестабильности потока энергии после крупных стихийных бедствий будут различными и не гарантируется, что операторы обучены и знают, как и когда использовать эти случайные планы. Willis Towers Watson регулярно советует своим клиентам хорошо зарекомендовавшие процедуры планирования в дополнение к существующим мерам, уже введенным сетевыми операторами.

## Обзор возникающих рисков в энергетическом секторе.

Список рисков чрезвычайных ситуаций охватывает различного рода опасности, которые не дают риск-менеджерам спать по ночам: кибератаки, изменчивость цен на нефть, изменяющиеся требования современных работников, коррупция, терроризм, уверенность корпораций в собственной способности противостоять неблагоприятному событию и другие. В то время как энергетический сектор страдал от природных бедствий уже многие десятилетия, появились новые риски, которые ставят под угрозу функционирование и устойчивость критической инфраструктуры. Учитывая их неопределённые и неизвестные формы, существует проблема в понимании, анализе и оценке новых рисков, из-за этого трудно найти соответствующие инструменты управления, например, страховые продукты для этих рисков. Тем не менее, рынок развивается, разрабатываются новые виды страховых решений для учета в высокой степени неопределённых рисков и открытия возможности классифицировать такие риски. Кроме этого, разрабатываются новые платформы и модели в среде моделирования катастроф, например, для оценки рисков терроризма и кибератак.

В дополнение к вышеперечисленным рискам космическая погода является ещё одной угрозой электросетей. Когда поверхность Солнца связывает себя в узел, получается невообразимо мощный и ослепляюще красивый результат. В конце февраля 2014 года интересующиеся космической погодой были побалованы самой крупной солнечной вспышкой в году и связанным с ней выбросом коронарной массы (СМЕ). Эта вспышка была проклассифицирована категорией X4.9. Классом X обозначают наиболее интенсивные вспышки, они часто сопровождаются длительными солнечными штормами. Шкала основана на схеме умножения: X2 в два раза интенсивнее, чем X1, X3 в три раза и так далее. Основным проявлением этого события было северное сияние. Но солнечные вспышки могут иметь гораздо более раз-

25 Стоит отметить, что указанная величина является средней по США, тогда как на Восточном побережье она была в 1,3 раза больше, чем в целом по стране.

рушительное воздействие – воздействие на средства связи, например, на спутники, и воздействие на электрическую инфраструктуру. Когда солнечные вспышки доходят до земли, электрическое перенапряжение может привести к повреждению электросетей, вызывая взрывы трансформаторов, а также создать помехи высокочастотным средствам связи и GPS-системам. Широкий спектр региональных и даже глобальных последствий солнечных бурь может негативно повлиять на инфраструктуру и, как следствие, повлечь за собой затраты на ремонт и восстановление, не говоря уже об убытках, вызванных остановкой производства, поэтому они требуют большого внимания и осторожности.

С этой целью различные агентства наблюдения за космической погодой по всему миру следят за солнцем и готовы давать предупреждения, когда произошло какое-либо солнечное явление, надеясь помочь предупредить возможный ущерб или потери. Несмотря на то, что мы более уязвимы, чем когда-либо до этого в силу увеличения воздействия на чувствительную инфраструктуру и роста зависимости от неё, мы всё же более подготовлены к борьбе с геомагнитными катастрофами, чем когда-либо. Данные и модели доступны в Отделе Гелиофизики НАСА (среди других источников) для научных, гражданских и промышленных нужд. Они дают нам возможность лучше узнать о прекрасном, но потенциально разрушительном явлении.

### **Механизмы страхования: Полезный инструмент для снижения риска и покрытия убытков от стихийных бедствий.**

Основными задачами и ядром страховой отрасли является понимание и определение риска, который состоит из трёх базисных понятий: опасности, уязвимости и воздействия. Для управления страховыми продуктами и финансовыми рисками необходимо оценивать вероятность наступления неблагоприятных событий и связанных с ними финансовых убытков с учётом уровня надёжности. В рамках страхового бизнеса разрабатываются определённые технические и актуарные экспертизы с учётом исторических данных с целью создания механизмов оценки рисков и механизмов их распределения, которые будут использоваться не только физическими лицами и бизнесом для покрытия своих убытков от стихийных бедствий, но и правительством. Это знание также может помочь адаптироваться и стать менее уязвимым к катастрофам за счёт лучшего понимания риска, экономического стимулирования поведения, которое ведёт к уменьшению риска, сбора данных для оценки риска, просвещение в целях улучшения информированности о рисках и возможное улучшение конструктивных методов (или программ) и регулирование.

## **Литература.**

'A Guide to improving the resilience of critical infrastructure and essential services', Cabinet Office Oct 2011.

Knutson et. al., "Tropical Cyclones and Climate Change," NATURE GEOSCIENCE Vol.3, p. 157-163 (2010)

"Global Climate Projections," in CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2007).

"State of the Science Fact Sheet: Atlantic Hurricanes, Climate Variability, and Global Warming," National Oceanic and Atmospheric Association, May 2012.

Michael Kunz et. al., CEDIM FDA-Report on Hurricane Sandy 22-30 October 2012, 2ndReport

## **3.4. Энергетическая безопасность: международные организации.**

**Канат Ботбаев (Kanat Botbaev),  
Ирина Де Мейер (Iryna De Meyer)**  
Секретариат энергетической хартии

### **Введение.**

Энергия – основа экономики. Энергетический сектор имеет критическое значение для таких секторов, как транспорт, здравоохранение, бизнес и домохозяйства. Риски, исходящие от природных катаклизмов, таких как наводнения, засухи, землетрясения, цунами, а также от умышленных и неумышленных действий человека, делают критическую инфраструктуру энергетики чрезвычайно уязвимой. Обрыв или повреждение электросетей могут повлиять, особенно в нашем сложном и взаимосвязанном современном мире, на миллионы людей и вызвать смерти, множество негативных воздействий на окружающую среду, а также каскад взаимосвязанных экономических потерь.

Важность защиты энергетической инфраструктуры нельзя недооценивать. Недавние примеры аварий, вызванных стихийными бедствиями и действиями человека в энергетическом секторе, чётко указывают, что их масштаб и долгосрочные последствия выходят далеко за пределы национальных границ. Землетрясения и вызываемые ими цунами, так же, как и климатические бедствия, такие как ураганы, наводнения, оползни, грады, приводят к серьезным повреждениям критической инфраструктуры, таким, что с ними невозможно справиться стране в одиночку. Аварии на энергетических сетях часто становятся проблемой, охватывающей несколько стран, таким образом, усилия по борьбе

с ними принимают международный характер. Принимая во внимание современный вид электросетей – взаимосвязанных и взаимозависимых, самые большие задачи восстановления требуют скоординированных действий международного сообщества.

На сегодняшний день оперативное управление объединённой энергосистемой является проблемой самой по себе, даже если не происходит никаких критических ситуаций. В качестве примера, экстремальные погодные условия, произошедшие в феврале 2012 года в континентальной Европе показали другие угрозы энергетических сетей. Растущая доля непостоянных источников энергии в странах Европейского Союза создаёт значительные проблемы операторам магистральных сетей взаимосвязанных систем. Эти риски, связанные с крупномасштабной интеграцией с возобновляемыми источниками энергии, наряду с физическими рисками, источниками которых являются природные и техногенные катастрофы, влекут за собой значительные угрозы для безопасности энергоснабжения, которые стали проблемой для всего мира.

Энергетическая Хартия – это многофункциональная организация содействия энергетической безопасности и международному сотрудничеству. Она является уникальной с точки зрения её членского состава, включая страны-производители электроэнергии, передачи и страны-потребители. Энергетическая хартия содействует международному сотрудничеству в области энергетики. Структура Хартии охватывает ЕС, страны центральной и восточной Европы, страны центральной Азии, Кавказа, а также Японию, Австралию, Монголию и страны-наблюдатели из Африканского и Американских континентов.

Правовая основа Энергетической Хартии предусматривает различные инструменты для поддержания непрерывной работы электроснабжения, в том числе и в частности, превентивные меры дипломатии и смягчения энергетических рисков за счёт Модели Механизма раннего Предупреждения (EWM) Энергетической хартии.

## Механизм Раннего Предупреждения Энергетической Хартии<sup>26</sup>

Модель «Механизм раннего предупреждения Энергетической Хартии» был разработан во время газового спора между Украиной и Россией в 2014 году, но, несмотря на это, предназначен для решения чрезвычайных ситуаций в любом энергетическом секторе, в том числе в электроэнергетике. Согласно этой модели, термин «чрезвычайная ситуация» – это ситуация со значительным прекращением или физическим нарушением подачи электроэнергии, газа или нефти в рамках Энергетической Хартии с трансграничным влиянием<sup>27</sup>.

26 U. Rusnák; I. De Meyer “The Energy Charter Early Warning Mechanism: 2014 Russia-Ukraine-EU Transit Issues” OGEL 6 (2015), www.ogel.org, URL: www.ogel.org/article.asp?key=3598.

27 текст Модели Механизма Раннего предупреждения Энергетической хартии доступен по адресу: <http://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/CCDECS/CCDEC201414.pdf>

В соответствии со ст. 2.1 Модели Механизма раннего предупреждения Энергетической Хартии, её цель «заключается в обеспечении необязывающей платформы, направленной на предотвращение чрезвычайных ситуаций, связанных с транзитом и поставками электроэнергии, природного газа, нефти и нефтепродуктов через трансграничные сети и трубопроводы в энергетическом секторе и устранение последствий после них».

Методология Механизма раннего предупреждения Энергетической Хартии EWM включает в себя «обмен информацией и ответы на запросы о получении информации, консультации, подтверждения информации и данных мониторинга, оценок риска и рекомендаций по действиям в вопросах борьбы с чрезвычайной ситуацией или её предупреждением» (статья 2.2).

Механизм состоит из трёх уровней и может быть инициирован любым лицом, подписавшим декларацию Энергетической Хартии 1991 года или декларацию Международной Энергетической Хартии 2015 года, в случае возникновения угрозы или непосредственно чрезвычайной ситуации путём подачи заявления на имя Генерального секретаря хартии (статья 4.1). В состав этого заявления входят: описание ситуации, наименования лиц, которые могут быть затронуты, а также любая другая информация, которую они могут запросить. Уведомляемые стороны, а также другие стороны, которые могут быть вовлечены или пострадать от чрезвычайной ситуации, называются «Участвующие стороны» (статья 4.3). Участвующие стороны могут назначить своих представителей любого уровня: представителя страны, уполномоченное лицо, должностное лицо дипломатической миссии или административный сотрудник. Опыт экспертизы в области энергетики не обязателен.

Контактная группа по энергетической безопасности является ядром Модели EWM. Она может быть собрана по просьбе любой из сторон договора или генеральным секретарём по его инициативе. Контактная группа является основным рабочим органом под председательством Генерального секретаря и включает в себя представителей Участвующих сторон, председательство на конференции Энергетической хартии (Вице-председатель контактной группы) и другие приглашенные стороны (статья 5.3).

Контактная группа поощряет сотрудничество, анализ информации и её обмен между сторонами-участниками по вопросам, которые они считают актуальными. Они также могут просить Председателя пригласить экспертов, чтобы они предоставили дополнительную информацию. Контактная группа преследует две цели: во-первых, она предлагает согласованную оценку ситуации и, во-вторых, она разрабатывает рекомендации по устранению угрозы возникновения чрезвычайной ситуации или по её преодолению (статья 5.7). Рекомендации относятся к положениям, которые согласованы всеми сторонами-участниками и находятся в рамках «кодекса поведения» без каких-либо правовых обязательств и обязательности приведения в исполнение.



Рис. 50. Функционирование Модели Механизма раннего предупреждения Энергетической Хартии.

На этом уровне важно, чтобы стороны доверяли друг другу и обменивались необходимой информацией по ситуации.

Для регистрации событий, касающихся энергетических потоков между странами-участницами, EWM Энергетической хартии предусматривает возможность создания группы мониторинга. Структура этой группы, а также её полномочия разработаны и утверждены контактной группой по энергетической безопасности (статья 6.2). Группа мониторинга потенциально может включать в себя экспертов и наблюдателей из определенной области энергетики (газ, нефть, электричество). В практических целях наблюдатели от Группы должны иметь доступ к национальным диспетчерским центрам в целях проведения необходимых проверок и контроля.

Группа контроля может быть созвана, например, в случае невозможности участников Контактной группы принять участие в поездке в места, в которых требуется проведение мониторинга, или в случае, когда необходимо пригласить независимых экспертов в области мониторинга для проверки точности данных, предоставленных участвующими сторонами. Созыв группы контроля не является обязательным. Эта рабочая группа может быть собрана в случае необходимости подтверждения информации, собранной во время работы Контактной группы по энергетической безопасности (рис. 50).

EWM Энергетической хартии носит многосторонний характер. Политика Энергетической хартии используется в качестве форума – некоторого нейтрального места для обмена информацией о событиях, которые могут привести к угрозе энергетической безопасности в стране или регионе.

EWM является инструментом для превентивной дипломатии и построения доверительных отношений. Механизм обеспечивает платформу для сотрудничества и предлагает решения по преодолению чрезвычайных ситуаций. Модель EWM Энергетической Хартии не имеет обязательной юридической силы. Она основана на полной прозрачности и нейтральности.

EWM дополняет существующие механизмы и не дублирует их (статья 4.2). Стороны могут обратиться к нему добровольно. Он будет хорошим дополнением к другим механизмам раннего предупреждения и урегулирования споров между отдельными сторонами.

Данный механизм не является средством урегулирования споров, но в рамках EWM это означает, что он не ставит своей целью заменить какие-либо механизмы разрешения споров, предусмотренные Договором Энергетической хартии (ЕХТ). Его главная задача состоит в недопущении реального или потенциального кризиса, а также в создании нейтральной платформы для добровольного участия стран договора

для сбора и обмена информацией перед принятием предварительных шагов. Генеральный секретарь содействует диалогу между участвующими сторонами и гарантирует то, что возможные недоразумения, манипуляции, и нецелевое использование данных не будут допущены между ними.

## Введение в действие Модели EWM энергетической Хартии на примере Украины в 2014 году.

Несмотря на то, что российско-украинские газовые споры рассматриваются международным сообществом не как экономические, а как политические, тем не менее Энергетическая хартия прилагает все усилия для урегулирования этой ситуации с энергетической точки зрения в правовых рамках Энергетической хартии.

Энергетическая Хартия была подготовлена к возможным угрозам энергетической безопасности и 3 марта 2014 года Генеральный секретарь выступил с заявлением по ситуации на Украине и созвал по своей инициативе Контактную группу по Энергетической безопасности по вопросу кризиса на Украине в соответствии с духом партнёрских отношений и международных обязательств (статья 4.2). Только Генеральный секретарь и вовлеченные стороны могут инициировать встречи Контактной группы, которые объясняются необходимостью облегчить процесс принятия решений в условиях особой чрезвычайной ситуации.

5 марта 2014 года состоялось первое заседание Контактной группы с добровольным участием вовлеченных сторон<sup>28</sup>. Оно прошло под председательством Генерального секретаря и состояло из представителей дипломатических миссий в ЕС Казахстана, России, Украины, а также представителей Европейского Генерального директората по энергетике и Европейской службы внешнеполитической деятельности.

В ходе этой встречи стороны обменивались своими мнениями по поводу видения этой ситуации и возможных последствий для транспортировки газа в рамках устава Энергетической хартии. Представители России и Украины подтвердили своё согласие на выполнение соответствующих договорных обязательств, направленных на устранение перерывов в работе энергетических потоков. Также стороны договорились встретиться еще раз через неделю и тем самым продемонстрировали свою добросовестность и готовность обсуждать эту проблему.

Второе заседание Контактной группы состоялось 13 марта 2014 года. Признавая, что прозрачность является основой доверия, Генеральный секретарь предложил Контактной группе создать систему сбора актуальной информации о физическом состоянии потоков газа. Другими словами, Генеральный секретарь предложил, чтобы стороны России, Украины и ЕС предоставляли Контактной группе отчёты

– ежедневные фактические потоки, ежедневные номинальные потоки, проходящие от, через и в районы участвующих сторон – объемы транзита, задокументированные операторами (статья 5.6).

После Крымских событий, произошедших в марте 2014 года, возникла необходимость в деэскалации напряженности в отношениях между Россией и Украиной, а также в разрушении линии между политической и энергетической конфронтацией. В своём публичном заявлении от 17 марта 2014 года Генеральный секретарь напомнил России и Украине о своих международных обязательствах, в частности перед инвесторами и в отношении энергетической безопасности региона<sup>29</sup>. Он также напомнил, что Контактная группа энергетической безопасности является нейтральным каналом связи и общей оценки, и призвал стороны продолжать участие в договоре.

На третьем совещании Контактной группы в конце марта Генеральный секретарь повторил, что Энергетическая Хартия является техническим и политическим органом с мандатом на обеспечение энергетической безопасности клиентов. В связи с этим сторонам-участникам было предложено обсудить примерную структуру Модели EWM Энергетической хартии.

Последнее заседание Контактной группы было проведено 4 апреля 2014 года. Для продвижения дискуссий Контактной группы и повышения их продуктивности, а также для выстраивания доверия между участвующими сторонами, Генеральный секретарь вновь заявил о необходимости установить Секретариату Хартии систему для сбора соответствующих данных о фактических потоках газа. Группа восстановила свою работу, когда представители России и Украины получили инструкции из своих столиц, касающиеся положений по необходимой информации или касающихся альтернативных предложений по решению ситуации в рамках Контактной группы.

Начиная с апреля 2014 года Секретариат Энергетической Хартии приложил множественные усилия для созыва Контактной группы безопасности. Еще одна встреча была запланирована на конец мая, но затем была перенесена на июнь. Генеральный секретарь предложил, чтобы на той встрече Контактная группа оценила возможность разработки плана для Украинского правительства по реализации существенных условий Механизма раннего Предупреждения Энергетической хартии. Однако Европейская Комиссия выступила за отмену совещания в силу уже проходящих трёхсторонних переговоров между Украиной, Россией и ЕС через их посредника. В силу отсутствия прогресса в дискуссии и эскалации конфликта между Россией и Украиной, дальнейшие собрания Группы энергетической хартии были приостановлены. Несмотря на это, секретариат продолжает поддерживать контакты с представителями стран.

28 Для получения дополнительной информации о всех контактных группах Энергетической хартии смотрите новостную ленту Энергетической хартии <http://www.encharter.org/index.php?id=660&L=0> (доступно 15 Ноября 2014)

29 "Развитие ситуации на Украине," Заявление Генерального секретаря, Брюссель, 17 Март 2014, [www.encharter.org](http://www.encharter.org) (доступно 28 Ноября 2014).

Мартовские дискуссии на площадке Энергетической хартии не дали достаточного импульса к быстрому установлению режима прозрачности. Однако, благодаря усилиям Генерального секретаря, спустя несколько месяцев Украина ввела беспрецедентные инициативы прозрачности в отношении потоков газа на своей территории.

Начиная с 6 мая 2014 года НАК «Нафтогаз Украины» - ведущая компания по транспортировке и хранению газа, присоединилась к системе отображения данных запасов газа AGSI+ - прозрачной платформе Газовой Инфраструктуры Европы (GIE). Информация об объемах газа, имеющемся в газовых подземных хранилищах Украины, предоставляется отдельно по каждому подземному хранилищу каждую пятницу на сайте GIE<sup>30</sup>

Кроме того, с 15 мая 2014 года ПАО «УкрТрансГаз» - дочерняя компания Нафтогаза, начала предоставлять ежедневную отчетность об объемах транзита газа по газотранспортной системе Украины на своём сайте и на сайте ENTSOG31. Эти инициативы прозрачности, как ожидается, позволят обеспечить лучшее взаимодействие между Украиной и её международными партнёрами в энергетическом секторе.

Ещё одним шагом Украины к прозрачности стало приглашение международных наблюдателей для мониторинга транзита газа через украинскую ГТС. Таким образом УкрТрансГаз был готов предоставить официальным наблюдателям от Европейской Сети Магистральных газовых Операторов (ENTSOG, Бельгия) и от Энергетического сообщества (Австрия) доступ к украинским газоизмерительным станциям для мониторинга транзита газа в июне 2014 года<sup>32</sup>. Компания направила соответствующее предложение в Брюссель и Вену, но никакой информации о последующей деятельности не было предоставлено. В ноябре Нафтогаз вновь предложил ЕС направить наблюдателей на Украину для мониторинга газовых потоков<sup>33</sup>. Стоит отметить, что во время аналогичного мониторинга на Украине в 2009 году наблюдателям было запрещено посещение диспетчерских центров. Приглашение международных наблюдателей на территорию Украины отражает третий уровень EWM Энергетической хартии – создание Группы мониторинга. Принятие стороной различного рода процедур прозрачности, в том числе добровольное предоставление национальных диспетчерских центров для мониторинга, является основой EWM Энергетической Хартии. Стоит отметить, что такой уровень прозрачности и готовность принять миссию по

мониторингу на её территории не выражала Россия. Таким образом, там нет общедоступного набора данных для сравнения между Россией и Украиной.

Все инициативы, исходящие от украинской газовой компании Нафтогаз и её дочерней компании УкрТрансГаз, связанные с подключением к различным Европейским платформам данных, повышают уверенность в своих международных партнёрах. Украина готова продемонстрировать, что их газотранспортная система является надёжной и что их государственная газовая компания с теневой репутацией принимает международные деловые практики высокого качества. Предоставление доступа к данным о потоках газа, проходящего через территорию Украины, является одним из ключевых рекомендаций Контактной группы по энергетике. Украина выполнила эту рекомендацию после того, как Контактная группа перестала собираться. Стоит отметить, однако, что хоть это и непосредственно не упоминается в вышеупомянутых инициативах Украины, тем не менее EWM Энергетической хартии оказывало полезное исходное и косвенное влияние на этот вопрос<sup>34</sup>.

## Влияние EWM на электроэнергетический сектор.

Электроснабжение, как и поставка газа, зависит от стационарной инфраструктуры, которая характеризуется высокой степенью взаимосвязанности и сложности. Если такая инфраструктура уязвима, особенно когда речь идёт о трансграничных проектах, существуют риски сбоя и существенных экономических потерь. Сегодня региональное сотрудничество в электроэнергетическом секторе является обычным явлением, цель которого – экономия за счёт эффекта масштаба и оптимизации использования генерирующих блоков. Таким образом, международное сотрудничество на политическом и техническом уровне имеет ключевое значение для обеспечения устойчивого энергоснабжения и смягчения любых рисков срыва.

Работа взаимосвязанных энергетических систем, вне зависимости от того газовая это, нефтяная или электрическая сеть, требует определенной степени координации. В случае возникновения чрезвычайной ситуации, вопросы прозрачности и координации ещё более важны. Тяжелые погодные условия и низкие температуры зимой 2012 года вызвали аварийную ситуацию на Балканах. Неблагоприятные гидрометеорологические условия привели к росту потребления электроэнергии и, в итоге, к ограничению экспорта, что создало серьезные трудности для всего энергетического рынка ЕС.

С учётом положений Договора Энергетической Хартии, запрещающего неоправданные экспортные ограничения, а также возможных последствий от мер по транзиту внутри региона и надёжности энергообеспечения, Секретариат

30 Газовые хранилища Европы <http://transparency.gie.eu/> (доступно 28 Ноябрь 2014).

31 УкрТрансГаз, информация по операциям <http://utg.ua/utg/business-info/live.html> и прозрачная платформа EntsoG <https://transparency.entsoG.eu> (доступно на момент 28 Ноября 2014).

32 "Ukrtransgaz Ready To Allow European Observers To Control Implementation Of Transit Obligations", 25 Июня 2014, новости НафтоГаз, <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweben.nsf/0/6568DB532E812325C2257D080039D624?OpenDocument&year=2014&month=06&nt=News&> (доступно 10 апреля 2015)

33 "Naftogaz increases transparency on gas transit, calls on EU to send observers to Ukraine to monitor gas flows", 25 Ноября 2014, новости НафтоГаз, <http://www.naftogaz.com/> (доступно 28 Ноября 2014)

34 Такое, как межправительственные и правительственные соглашения энергетической хартии по электроэнергии и газу, которые предлагают готовые руководства и сбалансированную стартовую точку для новых межгосударственных проектов по работе с транзитной и межграничной инфраструктурой (например, проект трубопровода Баку - Супса).

призывает к максимальной прозрачности в отношении любых методов ограничения экспорта электроэнергии в округе, а также вновь напоминает, что меры, направленные на предотвращение или облегчение острой нехватки электроэнергии на внутреннем рынке не должны быть использованы на периоды большие, чем это необходимо для решения проблемы. Теперь в подобной ситуации каждая из сторон Договора Энергетической Хартии или участница Международной энергетической Хартии может использовать механизм Раннего Предупреждения как инструмент для обеспечения прозрачности, координации и мониторинга.

В соответствии с договором Энергетической хартии (ЕСТ) Договаривающиеся Стороны обязаны обеспечивать безопасность установленных потоков Энергетических Материалов и Продуктов, проходящих от, через и на территорию других партнёров и не должна, в случае возникновения спора по любому вопросу, связанному с таким Транзитом, прерывать или сокращать, равно как и разрешать любому субъекту, находящемуся под ее контролем, прерывать или сокращать, либо требовать от какого-либо субъекта, находящегося под ее юрисдикцией, чтобы он прерывал или сокращал существующий поток Энергетических Материалов и Продуктов до завершения процедуры разрешения спора, изложенной в пункте 7(7), за исключением случаев, когда это особо оговорено в контракте или ином соглашении, регулирующем такой Транзит, или санкционировано решением мирового посредника (статья 7(6) договора).

Договор подчёркивает важность принципа «свободы транзита» и обязывает Договаривающиеся стороны содействовать транзиту на «недискриминационной» основе. Другими словами, договор является своего рода гарантией энергетической безопасности подписавшихся, в силу обоснования свободы транзита - его непрерывности и предотвращению создания каких-либо препятствий существующим потокам энергии.

Кроме того, ЕСТ налагает обязательство мягкого права на Договаривающиеся стороны поощрять сотрудничество Операторов Магистральной системы в принятии мер по ликвидации последствий перебоев в снабжении (статья 7(2)(c) ЕСТ).

Центральная Азия и Южный Кавказ являются двумя важными регионами в рамках Энергетической Хартии, где торговля и транспортирование электроэнергии являются важными элементами энергетической безопасности. Оба региона характеризуются высокой степенью уязвимости к геофизическим бедствиям (землетрясения) и бедствиям, связанным с климатическими катаклизмами (наводнения, засухи, оползни).

Как написано в Инициативе по управлению риском бедствий в Центральной Азии и на Кавказе UNISDR: «За свою историю страны Центральной Азии и Кавказа (ЦАК) неоднократно страдали от разрушительных бедствий, причинявших экономический ущерб и гибель людей. В этом регионе присутствуют практически все типы стихийных и

техногенных угроз, включая землетрясения, наводнения, оползни, грязевые потоки, сели, лавины, засухи и экстремальные температуры. Землетрясения представляют собой наиболее опасную угрозу, приводящую как к гибели населения, так и к разрушению зданий и объектов инфраструктуры, и в то же время вызывающую возникновение вторичных последствий, таких как оползни, грязевые потоки и лавины. В этом горном регионе имеется множество убедительных доказательств разрушительной силы таких вторичных последствий – оползни, грязевые потоки и сели стали основной причиной гибели людей во время землетрясений, произошедших в Армении (Спитак, 1988 г.), Азербайджане (Баку, 2000 г.), Казахстане (Алматы, 1887, 1889 и 1911 гг.), Кыргызстане (Джалалабад, 1992 г.), Таджикистане (Хаит, 1949 г., Гиссар, 1989 г.), Туркменистане (1948 г.) и Узбекистане (Ташкент, 1966 г.). Ожидается, что в результате изменения климата увеличится количество бедствий, связанных с гидрометеорологическими угрозами».

Энергосистема Центральной Азии и Южного Кавказа получила весьма разветвлённые и радиальные линии электропередач в наследство от бывшего СССР. Обе региональные энергетические системы эксплуатировались как часть единой энергетической системы Советского Союза, которая была спроектирована и построена в соответствии с командной экономикой без учёта национальных границ. Это по-прежнему имеет место, когда часть сетей, принадлежащих одной стране, пересекает границу другой, в результате реагирование на чрезвычайные ситуации затрудняется.

Растущая необходимость устранения рисков надёжности иллюстрируется рядом крупных инфраструктурных проектов в Евразии, которые направлены на содействие трансграничной торговле и транзиту электроэнергии. Проект CASA-1000, разработанный Всемирным банком, предлагает экспортировать излишки электроэнергии, выработанные на гидроэлектростанциях Центральной Азии, странам Южной Азии, у которых существует дефицит – Афганистану и Пакистану. Первоначальные концепции проектов Gobitec и «Азиатские суперсети» были разработаны Азиатским Банком Развития с участием стран Северо-Восточной Азии. В крупномасштабных проектах, таких как вышеперечисленные, защита инфраструктуры от техногенных и природных рисков является одной из главных приоритетов для получения ожидаемых выгод.

Модель Механизма Раннего Предупреждения Энергетической хартии может рассматриваться как многосторонний инструмент превентивной энергетической дипломатии, укрепления доверия и реагирования на чрезвычайные ситуации, основанный на добровольном сотрудничестве. Этот инструмент особенно актуален в свете растущего числа межрегиональных инфраструктурных проектов, проводимых на всём Евразийском континенте. Капиталоёмкие проекты с участием нескольких стран могут выиграть при использовании платформы, которая может учитывать потенциальные риски, связанные с критической инфраструктурой в энергетике.

## Рисунки

Рис. 1.	Синхронная европейская система передачи.	12
Рис. 2.	Краткое изложение принципа N-1, согласно инструкции ENTSO-E по оперативной работе.	13
Рис. 3.	Кривая изориска UCTE (сейчас ENTSO-E).	14
Рис. 4.	Основные закономерности устойчивого поведения.	15
Рис. 5.	Разделение системы, которое произошло в передающей сети Западной Европы в 2006 году.	17
Рис. 6.	Концептуальная структура анализа риска / уязвимости взаимосвязанных инфраструктур (блок-схема иллюстрации; двойные стрелки обозначают двустороннее взаимодействие).	18
Рис. 7.	Представление электрической сети.	25
Рис. 8.	Оценка каскадных эффектов в рамках комплексных рисков.	27
Рис. 9.	Сценарии каскадного эффекта, вызванного землетрясениями, как пример реализации структурной оценки комплексного риска при рассмотрении линий электропередачи.	28
Рис. 10.	Оценка энергетического отказа в Италии 28 сентября 2003 г.	43
Рис. 11.	Представление оцениваемого энергетического отказа в Италии 28 сентября 2003 года с использованием модели погашения blackout-simulator.com (изображение с blackout-simulator.com).	44
Рис. 12.	Социальное отношение к энергетической инфраструктуре и сетям в Европе.	45
Рис. 13.	Оценка кампаний по изменению восприятия информации.	46
Рис. 14.	Принятие энергетических инфраструктур и доли использования возобновляемой энергии.	47
Рис. 15.	Средний эффект информационной кампании	47
Рис. 16.	Будущая система на базе возобновляемой энергии в Европе требует новых связей, чтобы передавать возобновляемое электричество от удаленных мест генерации к центрам потребления и к местам хранения.	49
Рис. 17.	Процедура планирования линий электропередачи.	50
Рис. 18.	Уровни участия общественности в планировании энергетической сети.	51
Рис. 19.	Электрические сети: Технология зависит от уровня напряжения.	52
Рис. 20.	Связь NemoLink interconnector между Англией и Бельгией, а также проект Stevin, Бельгия.	53
Рис. 21.	Культура безопасности.	55
Рис. 22.	Процесс культуры обоснования.	55
Рис. 23.	Сообщение о безопасности.	56
Рис. 24.	Повреждение энерголиниям электропередачи порывом ветра.	58
Рис. 25.	Обледенения, повредившие линии электропередачи в Каринции, Австрия, в зимний период 2014 года.	58
Рис. 26.	Среднее число минут без электричества на человека (на основе индекса SAIDI, т.е. среднее время простоя на человека). Обратите внимание, что исключительные погодные явления и планируемые (технические) перерывы, а также прерывания, составляющие менее 3 минут, не рассматриваются для индекса SAIDI.	59
Рис. 27.	Параметры повреждения (например, шторма), топология сети и число / тип домохозяйств и компаний, определяющих уязвимость сетевой инфраструктуры и последствия отказа.	61
Рис. 28.	Обзор проектов, соответствующие пяти руководящим принципам.	67
Рис. 29.	Публичные информационные совещания в рамках проекта BESTGRID.	68
Рис. 30.	Градации погодного риска в цвете: красный представляет самый высокий уровень; желтый самый низкий.	69

Рис. 31.	Поврежденные воздушные линии электропередачи.	70
Рис. 32.	Структуры аварийного восстановления.	70
Рис. 33.	Недавние природные бедствия на Балканах.	73
Рис. 34.	Последствия природных бедствий.	76
Рис. 35.	Ключевые показатели прошедших штормов: скорость ветра от синего к красному.	77
Рис. 36.	Основная статистика о последствиях штормов 1999 года: (повреждение = количество опор).	77
Рис. 37.	Тренировки и совместные действия по аварийному восстановлению.	78
Рис. 38.	Системы электрической генерации и передачи в подверженных опасности районах округа Вэньчуань, Сычуань, Китай вблизи эпицентра Вэньчугского землетрясения 2008 года.	81
Рис. 39.	Поврежденная гидростанция «Генгда» (слева) и соседняя подстанция (справа) вблизи эпицентра Вэньчугского землетрясения (Фото: Минчон Лю (Mingchong Liu)).	82
Рис. 40.	Цикл кризисного и рискованного управления.	86
Рис. 41.	Распределение задач при совместном подходе.	87
Рис. 42.	Базовая структура электрической системы.	91
Рис. 43.	Концепция устойчивости.	92
Рис. 44.	Результаты образцового анализа.	95
Рис. 45.	Накопленный анализ для моделирования регулятора или пожарный анализ для риска терроризма.	96
Рис. 46.	Определение зон пиковой подверженности.	96
Рис. 47.	Разработка сценариев и мейвместо фактических бедствий или постсобытийные вычисления.	97
Рис. 48.	Инженерный обзор CAT риска и оценка PML.	97
Рис. 49.	Приблизительная случайная диаграммакарта/поток отображающая основные результаты обширных энергетических отказов в основных человеческих нуждах и возможные чрезвычайные меры во избежание будущих рисков.	98
Рис. 50.	Функционирование Модели Механизма раннего предупреждения Энергетической Хартии.	102

## Таблицы

Таблица 1.	Основные погашения последнего времени	16
Таблица 2.	Контрольный список для категорирования опасностей и пусковых событий в энергосистемах Европы	20
Таблица 3.	Случаи стихийных бедствий, вызывающих потери энергии	31
Таблица 4.	Исторический обзор перерывов энергии, их размеры и причины происхождения.	41
Таблица 5.	Краткий обзор исторических отказов энергии.	42
Таблица 6.	Факторы, повышающие готовность домашних хозяйств Европы платить для избегания сбоев в подаче электроэнергии.	42
Таблица 7.	Общие потери во всех регионах и секторах; краткий обзор файла blackout-simulator.com	43
Таблица 8.	Влияние климатических рисков на транспортировку и передачу электроэнергии	60

# Авторы и организации

## Организация по Безопасности и Сотрудничеству в Европе (ОБСЕ).

### Отдел координатора экономической и экологической деятельности (ОКЭЭД).

Деятельность ОБСЕ в области безопасности основана на многостороннем подходе, который включает политические, военные, экономические вопросы, а также вопросы охраны окружающей среды и социальные факторы. В сферу деятельности ОБСЕ входит широкий спектр вопросов по безопасности, включая контроль за вооружением, меры по безопасности, защите прав человека, национальных меньшинств, демократизации, борьбе с терроризмом, а также другим видам экономической и экологической деятельности. Все 57 входящих в состав ОБСЕ стран обладают равным статусом, все решения принимаются на консенсусной базе и являются политическими, но не обладают юридической силой.

Экономическая и природоохранная деятельность в ОБСЕ включает вопросы энергетической безопасности, такие как защита критической энергетической инфраструктуры, диалог по стратегическим вопросам в области энергетической безопасности, вопросы касающиеся возобновляемых источников энергии и мер энергетической эффективности. ОБСЕ является пан-Европейской и транс-Атлантической платформой и поддерживает меры по достижению энергетической безопасности и диалогу среди стран-участников, а также с другими международными организациями, которые отвечают за вопросы энергетической политики.



**Даниель Крус**  
(Daniel Kroos)

Даниель изучал право, бизнес и международные отношения в Берлине и Вашингтоне. Он также работал специальным советником Совета по Планированию Политики в составе Немецкого Федераль-

ного Офиса по Международным Отношениям в Берлине. Он также работал советником по энергетическим вопросам в Еврокомиссии в Брюсселе и в Британской нефтегазовой компании Би-Пи в Баку, Азербайджане. С 2008 по 2010 он служил в должности директора Немецкой Торговой Палаты в Баку, Азербайджан.

До своей деятельности в ОБСЕ, Даниель заведовал вопросами нефтяной и газовой практики в роле вице президента консалтинговой компании WTO Management Consulting AG в Берлине и Цюрихе. Он управлял международными проектами М & А, интеграции после слияния и оптимизации в нефтяной и газовой промышленности. В настоящий момент Даниель работает в должности старшего сотрудника по программам в области энергетической безопасности в отделе координатора экономической и экологической деятельности в секретариате ОБСЕ в Вене, где он занимается вопросами региональной энергетической безопасности, а также альтернативными источниками энергии.

## Агентство по энергии окружающей среды (Environment Energy Agency (EEA)).

EEA является крупнейшей организацией экспертов в Австрии по всем вопросам охраны окружающей среды. В качестве независимого партнера, этот институт наводит мосты между экономикой, наукой и политикой на национальном и международном уровне. Обладая более чем 450 специалистами по 55 научным дисциплинам, EEA является ведущим разработчиком экологических решений. В области климатических воздействий, уязвимости и адаптации электрических сетей EEA накопил опыт за счет нескольких проектов, выполненных в последние годы. Финансируемые Еврокоммиссией проекты по адаптации к изменению климата, а также справочный доклад по стратегии адаптации Европы были важными шагами для того, чтобы подчеркнуть необходимость в адаптации европейской энергетической системы (в том числе предложении по спросу и передаче / распределению) в направлении большей устойчивости. Справочный отчет в том числе энергетические главы можно найти по ссылке: [http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/studies\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/studies_en.htm). Австрийский фонд климата и энергетики (KLIEN) финансирует через свою программу ACRP проект «Выключить» (Switch-Off) (выступает за сдвиги в погодных происшествиях, угрожающих надежности распределения электроэнергии и передачи / экономическим показателям из-за изменений климата и возможности предусмотрительного планирования), в котором проект консорциума (Университет природных ресурсов и естественных наук, Агентство по окружающей среде Австрии и Институт энергетики при университете Линца) исследуют текущую и будущую климатическую уязвимость электросетевой инфраструктуры, ее экономические показатели в условиях изменения климата и конкретизируют потребности в области адаптации.



**Мартин Кёниг**  
(Martin König)

Мартин Кёниг был старшим экспертом Агентства по окружающей среде Австрии. Он координировал деятельность по созданию национальных программ научных исследований CCIVA (Воздействие изменения климата, уязвимость и адаптация), инициировал и координировал проекты ЕС для лучшего сотрудничества национальных программ научных исследований климата по всей Европе (CIRCLE) и принимал участие в адаптации проектов, обеспечивающих основу, инструменты и DSS для различных секторов и масштабов – от региональных, через национальные к общеевропейским. По его мнению, его участие в различных исследованиях по воздействию климата было одной из важных основ для конструктивного политического консультирования по стратегиям адаптации к изменению климата.

## Виллис Тоуэрс Ватсон и Виллис Ре (Willis Towers Watson и Willis Re)

Willis Towers Watson – это ведущая мировая консалтинговая и брокерская компания, которая помогает своим клиентам по всему миру преобразовать риск в способ роста. С историей, ведущейся с 1828 года, Willis Towers Watson насчитывает более 39000 сотрудников в более чем 120 странах мира. Она разрабатывает и предлагает решения для управления рисками, оптимизации выгод, культивирования талантов и расширению власти капитала для защиты и укрепления организаций и частных лиц. Корпоративное рисковое и брокерское обслуживание (CRB) предоставляет широкий спектр услуг по рисковому консалтингу и страхованию брокерских операций для своих клиентов, начиная от малого бизнеса и заканчивая транснациональными корпорациями. Наша миссия состоит в том, чтобы помочь клиентам быть более стабильными и устойчивыми во всё более сложном и рискованном мире, чтобы они смогли сохранить свой текущий бизнес и разрабатывать новые. Willis Re – одна из ведущих мировых консалтинговых компаний по вопросам перестрахования и член объединения Willis Towers Watson, работает с 80% тысячи крупнейших компаний мира.

Основной задачей компании является предоставление клиентам полного набора решений, что помогают им управлять рисками и капиталом, анализировать их и принимать необходимые ситуационные меры, выполняя вышеперечисленное с помощью инвестиционных советов, расширенной аналитики, структурирование и выполнение транзакций, выпуск ценных бумаг и размещение риска для выявления и количественной оценки источников риска, и как они взаимодействуют, используя широкий спектр инновационных аналитических инструментов и методов. Инструменты включают в себя полный набор коммерческих моделей, включая наши собственные запатентованные модели, обеспечивающие дополнительное понимание ситуации. Исследовательская сеть Willis обеспечивает нашу количественную оценку рисков путём открытых научных исследований и разработки новых моделей риска и приложений. Целью Исследовательской сети Willis является создание открытого форума продвижения науки экстремальных явлений – создание тесного сотрудничества между университетами, страховыми компаниями, перестраховщиками, компаниями, моделирующими катастрофы, государственными научно-исследовательскими институтами и неправительственными организациями.



**Марк Леманн**  
(Marc Lehmann)

Марк Леманн присоединился к Willis Towers Watson в октябре 2008 года, как член-учредитель группы Консалтинга Стратегических Рисков в Лондоне. Его главная обязанность заключается в

координировании, управлении и предоставлении консалтинговых услуг для широкого спектра опасных природных явлений (включая моделирование катастроф и инженерную оценку риска) для глобальной корпоративной клиентской базы Willis. В список клиентов с которыми работал Марк как в рамках Willis, так и на предыдущих местах работы входят некоторые основные государственные, коммерческие и промышленные организации

по всему миру. До Willis Марк был Основным директором и директором по развитию бизнеса в международной инженерной компании ABS Consulting (ранее EQE International), где в его обязанности входило управление различными рисками опасностей природного и техногенного происхождения для промышленных клиентов, например, проведение обследований недвижимого имущества на подверженность землетрясениям, штормам и наводнениям, чтобы помочь им принять решения о передаче риска, а также для определения решений по их снижению. Предыдущий опыт Марка также включал работу старшим инженером-конструктором в ряде международных строительных проектах для таких компаний как Ove Arup & Partners, Battle McCarthy, Systra and Calatrava Valls. Марк имеет диплом инженера Швейцарского федерального технологического института (ETH), Цюрих и Имперского колледжа в Лондоне, свободно говорит на английском, французском и немецком языках.



**Торольф Хамм**  
(Torolf Hamm)

Торольф Хамм присоединился к Willis Towers Watson в 2011 году и в настоящее время руководит группой Консалтинга по Стратегическому риску Природных катастроф в Лондоне. Его главная

обязанность заключается в управлении консалтинговыми проектами по рискам природного и техногенного характера (включая моделирование катастроф и инженерную оценку риска) для крупных мировых организаций. Торольф имеет большой опыт предоставления проектов рискованного финансирования и снижения рисков во всех секторах, включая энергетику и нефтегазовые компании. До Willis Towers Watson Торольф работал Старшим специалистом по моделированию Катастроф и ведущим техническим инженером по решениям по управлению рисками (RMS), где был ответственным за разработку модели уязвимостей и инвентаризации для Модели наводнения RMS UK'08 и предстоящей расширенной модели RMS Euro. Он возглавлял и участвовал в различных группах ликвидации последствий катастроф, которые включают Землетрясение в Кенте в 2007 году, Летние наводнения в Великобритании в 2007 и наводнение в Австралии в июле 2009 года. В рамках RMS Торольф активно участвовал в разработке Модели воздействия штормового ветра на строительные объекты и промышленность RMS Euro Windstorm'11 (IED). Ранее Торольф был консультантом по строительным материалам в ряде проектов высокого профиля, в некоторых случаях как ревизор-эксперт в STATS Limited (в настоящее время RSK STATS Limited). Торольф успешно защитил кандидатскую диссертацию (Ph.D) по Инженерной геологии в Имперском колледже и диплом по специальности Геология в RWTH Aachen, Германия.



**Бриджит Балтхазар**  
(Brigitte Balthasar)

Бриджит присоединилась к Willis Re Analytics в 2009 году в качестве аналитика риска катастроф. Работая в различных региональных командах в Японии, Латинской Америке и Европе, а также в Лондоне,

Вашингтоне и Париже, она имеет семилетний опыт моделирования катастроф и является руководителем команды «Сервисы по Управлению Катастрофами» в Германии, Австрии и Швейцарии с 2011 года. В настоящее время офис Бриджит находится в Мюнхене, Германия. На текущей позиции её основная обязанность заключается в координации, управлении и предоставлении широкого спектра консалтинговых услуг по риску катастроф для клиентов Willis Re в Германии, Швейцарии и Австрии. Кроме того она является участником Научно-Исследовательской Сети Willis Re в области глобальных оценок риска и смягчения последствий изменения климата. Она была в командировке вместе с организацией Международной Стратегии по Снижению опасности стихийных Бедствий ООН (UNISDR) в Женеве в начале 2011 года. В роли консультанта она была соавтором доклада о Глобальной оценке уменьшения опасностей и разработала рекомендации по его дальнейшему развитию. До прихода в Willis Re, Бриджит была учителем математики и географии в Германии и получила сертификат о двуязычном образовании. Она проводила свои исследования в Университете де Сарагоса (Испания) и Университете Альберта Людвиг Фрайбурга (Германия). В последнем она получила магистерскую степень по географии, математике и разработке учебных программ. Она свободно владеет английским и немецким языками.

## GO15 (GO15)

GO15. Надежные и устойчивые электрические сети являются добровольной инициативой 17 мировых, крупнейших электросетевых операторов, представляющих более 70% мирового спроса на электроэнергию и обеспечивающие электроэнергией 3,4 миллиарда потребителей на 6 континентах. После нескольких серьезных инцидентов, связанных с суровыми погодными условиями на разных континентах, члены GO15 решили поставить устойчивость сети к внешним воздействиям в качестве совместной повестки дня. Само собой разумеется, что при низкой вероятности / сильном воздействии событий, чрезвычайно важным является обмен опытом. Профилактические и корректирующие меры проверяются включая оценки затрат на улучшение надежности сети. В конце концов, члены согласовали рамки для взаимопомощи. В повышении электросетевой устойчивости будет задействован значительный объем инвестиций. Таким образом, будет расти общая ответственность среди федеральных агентств, государственных и местных регулирующих организаций и партнеров по отрасли. GO15 способствует лучшему взаимопониманию для развития мировых электросетей. GO15 объединяет международную сеть экспертов, которые обмениваются передовым опытом и опытом для решения проблем, связанных с повышенной сложностью больших электрических сетей, гарантируя, что потребности потребителей по обеспечению безопасного и надежного электроснабжения удовлетворяются при разумных затратах. Общее видение и рекомендации считаются релевантными в кругу 17 членов коллектива, соответствующих акционеров как регуляторов, ответственных за принятие решений, производителей и научно-исследовательских центров. Совместные мероприятия GO15 организованы в пяти комитетах, которые касаются оперативных, технологических, финансовых и коммуникационных аспектов.



### Хуберт Лемменс (Hubert Lemmens)

Хуберт Лемменс получил степень магистра в области инженерии в Католическом университете Левена (1977). Он также имеет степень полученную во Флерикской Бизнес Школе (Vlerick Business

School) и «Программы общего управления» от CEDEP в Фонтенебло (2000). После нескольких должностей в секторе электроэнергетики, в 2003 году он вошел в Правление

Элиа (Elia), где он последовательно был директором системы эксплуатации и технического обслуживания, научных исследований и инноваций. Он был глубоко вовлечен в процесс разукрупнения и запуск бельгийской диспетчерской системы Элиа (Elia) с 1999 года. Хуберт председательствовал в комитете ENTSO-E R & D в течение 3-х лет, и играл ведущую роль в разработке первой Дорожной карты ENTSO-E R & D. В ходе своей карьеры Хуберт накопил большой опыт в экономике энергетики. Через свои международные контакты с европейскими и мировыми энергетическими компаниями, он имел возможность ознакомиться с различными бизнес-моделями и организациями в энергетическом секторе.



**Терри Бостон**  
(Terry Boston)

После службы в качестве президента и исполнительного директора компании PJM с 2008 года г-н Бостон вышел в отставку в конце 2015 года. Г-н Бостон является бывшим президентом GO15, объ-

единения крупнейших в мире электросетевых операторов. В 2014 году г-н Бостон был избран в состав Национальной инженерной академии, где был представлен в качестве инженера, имеющего одно из самых высоких профессиональных достоинств. Г-н Бостон был удостоен нескольких других профессиональных наград в США. Он является председателем электрической инфраструктуры E-PRO исполнительного комитета Совета Безопасности. Он работал в отделе электроэнергетического научно-исследовательского института (EPRI), в настоящее время работает в отделах GridLiance GP LLC, Альянса защиты сетей и Совета Национальной академии по вопросам систем энергетики и окружающей среды. Г-н Бостон получил степень бакалавра наук в области машиностроения в Технологическом университете Теннесси и степень магистра наук в области инженерного управления в Университете штата Теннесси.



**Ален Стивен**  
(Alain Steven)

Ален Стивен имеет более чем 47-летний опыт работы в электроэнергетике, в том числе 30 лет в качестве старшего руководителя, с акцентом на критически важные системы, работающие в режиме

реального времени для управления спросом, энергетическими рынками, управлением сетями, атомными и тепловыми электростанциями. Ален Стивен – Генеральный секретарь GO15, международной ассоциации крупнейшей электрической сети и рынка операторов в мире. Он также является техническим директором компании Инновационные решения для микросети, компания базируется в Сан-Франциско исследует передовые технологии хранения энергии, для обеспечения снижения нагрузки, одновременно помогая потребителям сократить свои расходы на электроэнергию. Он был техническим директором и одним из основателей Viridity Energy - компании, специализирующейся на передовых услугах Реакции Спроса, и является автором семи патентов. До проекта Viridity Energy Ален занимал высшие руководящие должности в качестве технического директора PJM Interconnection, был президентом PJM Technologies, генеральным директором компании Alstom ESCA Corporation и вице-президентом по моделированию бизнеса в отделении теплотехники АББ. Окончил университет Льежа (Бельгия) в 1968 году, где получил звание инженера в области физики и аэрокосмоса.

## Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)

В ИСЭМ СО РАН проводится изучение энергетики в широком ее понимании, объектами исследований и приложений являются общеэнергетические и физико-технические системы: топливно-энергетические комплексы (ТЭК) территорий, регионов, страны и мира и составляющие их электроэнергетические, тепло-, нефте- и газоснабжающие системы, угольная промышленность, атомная энергетика, а также перспективные энергетические технологии и оборудование.

Научная направленность ИСЭМ включает: теорию создания энергетических систем, комплексов и установок и управления ими; научные основы и механизмы реализации энергетической политики России и ее регионов и связана с созданием и развитием теории и методов системных исследований в энергетике, нацеленных на: комплексное и многоаспектное рассмотрение ТЭК и его специализированных систем энергетики; анализ мировых, национальных и региональных тенденций; разработку прогнозов, приоритетов и стратегий развития; создание научно-методической базы для оптимального планирования, проектирования и функционирования этих объектов и автоматизированного управления ими; обеспечение их надежности и безопасности.

Особое место в научной направленности ИСЭМ занимают проблемы надёжности систем энергетики и энергетической безопасности. ИСЭМ является научным лидером в России в данных научных направлениях, что подтверждается многочисленными публикациями и выполненными прикладными работами.



**Геннадий Ковалёв**  
(Genady Kovalev)

Ведущий научный сотрудник ИСЭМ СО РАН, доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: надёжность электроэнергетических систем; оптимизация надёжности ЭЭС на

этапах проектирования и планирования развития; диагностика энергетического оборудования. В настоящее время является руководителем научно-исследовательского проекта «Методические основы учета фактора надёжности при управлении развитием систем энергетики», член Комитета по стандартизации ТК «Надёжность в технике» Федерального агентства по техническому регулированию и технологии. Автор и соавтор более 200 научных работ, в том числе 10 монографий.



**Дмитрий Крупенёв**  
(Dmitry Krupenev)

Старший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН, кандидат технических наук. Область научных интересов: оценка системной надёжности электроэнергетических систем, оптимизация систем-

ной надёжности электроэнергетических систем, надёжность поставок первичных энергоресурсов на электрические станции. Член Международной энергетической комиссии (International Electrotechnical Commission, TC 56 Dependability). Автор и соавтор более 40 научных работ.



**Денис Бояркин**  
(Denis Boyarkin)

Бояркин Денис является аспирантом второго курса в Иркутском национальном исследовательском техническом университете по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Совмещает исследования и работу в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. В настоящее время является членом команды по разработке программного комплекса для оценки балансовой надёжности. В его научные интересы входит программирование сложных систем, с применением имитационного моделирования, различных методов оптимизации, планирования и машинного обучения.



**Дмитрий Якубовский**  
(Dmitriy Yakubovskiy)

Якубовский Дмитрий является аспирантом второго курса обучения Иркутского национального исследовательского технического университета, совмещает свою исследовательскую деятельность с работой инженера в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. В настоящий момент он в составе команды, в качестве одного из программистов разрабатывает часть нового программно-вычислительного комплекса оценки балансовой надёжности. В его научные интересы входит программирование сложных систем, с применением имитационного моделирования, различных методов оптимизации, планирования и машинного обучения.

## Институт энергетики при Университете имени Иоганна Кеплера (Energy Institute at the Johannes Kepler University)

Институт энергетики при Университете имени Иоганна Кеплера в Линце является коммерческой исследовательской организацией, обладающей междисциплинарными знаниями по темам исследований, связанных с энергетикой. Три отдела Энергетического института охватывают экономику энергетики, законы энергетики и технологии энергетики. Сочетание этих основных дисциплин позволяет проводить комплексный анализ и учитывает все аспекты, ориентированные на будущее энергетики. Мы анализируем экономические последствия проблем, связанных с политикой, относящейся к энергетике, обсуждаем самые последние разработки в области европейского энергетического законодательства и оценки стратегий для схем борьбы с выбросами CO<sub>2</sub>, а также меры, направленные на обеспечение целей в области энерго-эффективности. Институт энергетики при Университете имени Иоганна Кеплера в Линце глубоко укоренился в Австрии. Научное сообщество этого института публикуется в журналах высокого уровня и обладает опытом участия в многочисленных национальных и европейских научно-исследовательских проектах, среди которых есть и крупные транснациональные проекты по безопасности поставок электроэнергии в Европе. Соответствующие усилия в области исследований энергетической безопасности Института энергетики сосредоточены на обеспечении поддержки принятия решений. Близкие по теме анализы варьируются от экономических оценок стоимости безопасности и до указаний относительно экономических эффективных уровней инвестиций, в том числе до общественного восприятия и принятия политики, связанной с безопасностью.



**Ёханес Райхль**  
(Johannes Reichl)

Ёханес Райхль является исследователем в области прикладной статистики, который разрабатывает передовые эконометрические методы при исследовании проблем, стоящих перед обществом

в области энергетики и ресурсов экономики. В настоящее время он является научным координатором и главным исследователем проекта Горизонт (Horizon) 2020 "Применение административного киоска индивидуальной энергетики" (PEAKapp), руководитель задачи Проекта Горизонт (Horizon) 2020: "Инновационные Крупномасштабные технологии аккумулирования энергии и концепции мощности на газе после оптимизации" (STORE & GO), а также является сотрудником по правовым, этическим, частным и политическим вопросам (LEPPI) в проекте FP 7 "Защита Smart Grid от кибератак" (SPARKS). Кроме того, он был вице-координатором проекта FP7 "Обеспечение безопасности Европейского электроснабжения от вредоносных и случайных угроз" (SESAME), и был главным разработчиком программного пакета [www.blackout-simulator.com](http://www.blackout-simulator.com). Он организовал и провел ряд семинаров с участием политических деятелей высокого уровня по темам, связанным с энергетикой, таких как семинар 2016 года «Требования безопасности к Smart Grids: экономические, правовые и социальные аспекты» в Европейском парламенте, Брюссель, и в 2012 году семинар "Возникающие вредоносные угрозы в Электроэнергетической инфраструктуре: повышение осведомленности и готовности профессионалов в СО и агентстве национальной безопасности" в Европейской комиссии, Генеральный директорат по внутренним делам, Брюссель.



**Майкл Шмидтхалер**  
(Michael Schmidthaler)

Доктор Майкл Шмидтхалер является руководителем проекта в Институте энергетики при Университете имени Иоганна Кеплера в Линце. Он получил свою докторскую степень в Университете

Иоганна Кеплера Линц, имеет степень магистра в научной области экономики и окружающей среды (MA & M.Sc. с отличием) от Университета имени Карла-Франценса в Граце и получил международный опыт в различных исследованиях находясь в США, Гавайях, Испании и Южной Америке. В течение нескольких лет он работал над различными проектами с упором на количественные анализы безопасности энергоснабжения (2010-2015 годы), на схемы регулирования (2011-2014), на смарт-измерительные и сетевые услуги, а также по экономике парниковых газов, действий по борьбе с выбросами и усилий по повышению энерго-эффективности. Он является лидером задач в проекте SPARKS FP 7, провел часть нормативной оценки в проекте SESAME FP 7 и является лидером пакета «проект / работа» в научно-исследовательской деятельности в области национальных энергетик, безопасности и эффективности.

## Консалтинговая компания CESys Ltd. Consulting company CESys Ltd.



**Любомир Томик**  
(Lubomir Tomik)

Директор консалтинговой компании CESys Ltd., работающей в области энергетики и безопасности. После окончания инженерного факультета ČVUT по специальности в области ядерной энергии,

он работал в SE a.s. в качестве инженера-диспетчера АЭС V1 (SE, оператора АЭС в Словакии). Во время создания ядерного регулирующего органа Словацкой Республики он работал в области вероятностной оценки безопасности и ядерной инспекции. В период переходной экономики в 90-е годы он приобрёл опыт за рубежом в ряде промышленных и энергетических компаний. В последние годы он работал в качестве менеджера в зарубежных ИТ-компаниях, решая задачи открытия и дерегулирования чешского и словацкого энергетического рынка. В период 2002–2006 гг.

он был управляющим директором CENS (Центр по проблемам ядерной безопасности) – международной компании, работающей в регионе Центральной и Восточной Европы, сосредоточив внимание на повышении ядерной безопасности при тесном сотрудничестве с МАГАТЭ. Что касается приватизации SE a.s., то он является автором и соавтором различных исследований, выполняющих моделирование сценариев энергетического рынка, то есть технико-экономическое обоснование вывода 3 и 4 блоков на АЭС Моховце для Министерства экономики Словацкой Республики. Он занят издательской деятельностью, главным образом, в области атомной энергетики и имеет богатый опыт в организации международных и специализированных профессиональных конференций и совещаний. Он является соавтором нескольких учебных курсов, посвященных ядерной безопасности (понимание ядерной безопасности, культуры безопасности, проблемных ситуаций и т.д.) CESys выступают в качестве сертификационного органа (Министерство образования Словацкой Республики) для обучения по темам, связанным с безопасностью.

## Международный институт прикладного системного анализа (IIASA) и Швейцарская высшая техническая школа Цюриха (Zurich) (ETH Zurich and International Institute for Applied Systems Analysis)

Международный институт прикладного системного анализа (IIASA) является научным институтом, расположенным в Лаксенбурге, неподалеку от Вены. Целями программы IIASA является стремление к лучшему пониманию риска в экономических, экологических и социальных системах, возникающего в результате глобальных изменений и помощь в трансформации путей управления риском, которые используются в разных сообществах. Научная тематика рабочей группы «государственное управление рисками» анализирует как принимаются решения органами государственного управления и последующие результаты на основе и в содействии с исследованиями процесса принятия решений, общественного признания, восприятия риска, когнитивных предубеждений и культуры.

Группа Климатической Политики в Швейцарской высшей технической школе Цюриха проводит проблемно-ориентированные исследования стратегии по борьбе с изменением климата и связанными с ним экологическими проблемами. В настоящее время группа работает над анализом путей создания устойчивой системы электроснабжения для Европы и за ее пределами, средств для смягчения уязвимости человека к климатическим воздействиям и другим стихийным бедствиям, а также исследование вопросов последствий политических решений в области использования и охраны природных ресурсов.



**Надежда  
Комендантова**  
(Nadejda Komendantova)

Доктор Надежда Комендантова является старшим научным сотрудником группы по климатической политике в Швейцарской высшей технической школе Цюриха и руководителем исследовательской группы "государственное управление рисками", международный институт прикладного системного анализа (IIASA), Австрия. Ее научные интересы включают проблемы управления мульти-рисками для смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, анализ взглядов и конфликтных интересов вовлеченных заинтересованных сторон, структур управления, рынка и гражданского общества, а также социальные институты и политические процессы, направленные на повышение адаптивных подходов к изменению климата, внедрению стратегий по климатической и энергетической безопасности. Доктор Комендантова в настоящее время является руководителем и ведущим специалистом

проекта «Политика и стратегии по адаптации к изменению климата, энергетической безопасности и регионального развития в регионах Австрии» (LINKS), который финансируется Австрийским федеральным агентством по охране окружающей среды, а также министерством по экономическому развитию Австрии. Она также руководит участием ИИАСА в проекте «Технологии по выработке электричества на Ближнем Востоке и в Северной Африке» (MENA-SELECT) при поддержке Федерального министерства экономического сотрудничества и развития Германии (BMZ). Доктор Комендантова имеет более 60 публикаций, в том числе вклад в Глобальный доклад о коррупции (Transparency International), Глобальный доклад об оценке рисков природных катастроф (GAR), Глобальный доклад по возобновляемой энергетике (REN21). Она имеет награды от ученого совета Организации Объединенных Наций, а также фондов поддержки науки Австрии, таких как Raab Фонда Джулиуса. Она была приглашена и выступала в качестве эксперта с докладами на форумах высокого уровня, в таких организациях как Генеральная дирекция по исследованиям и инновациям Европейской Комиссии, НАТО, Секретариат Энергетического Сообщества и Форум Энергетической Хартии.

## Политехнический университет Виргинии (Virginia Tech)

Политехнический университет Виргинии является территориальным университетом, основанным в 1872 году в штате Виргиния, США. Политехнический университет Виргинии (VT) призван открывать и распространять знания через обучение, исследования и взаимодействие с обществом, следуя своему девизу «Invent the Future (Придумывая будущее)». Одной из приоритетных задач VT является международное сотрудничество, так, например, совместные усилия между Институтом Энергетики Линцского университета и Департаментом сельскохозяйственной и прикладной экономики (AAEA) привели к созданию статьи в этой книге. Департамент AAEA VT имеет традиционно сильные исследования в области экологической и энергетической экономики, прикладной эконометрики, экономике продуктов питания и здравоохранения, а также экономики международной торговли.

Памплин Колледж Бизнеса входит в число 50 лучших учебных заведений бизнеса в США по версии U.S. News & World Report. Это один из восьми колледжей Политехнического университета Виргинии, который предлагает 240 образовательных программ и обучает более 31000 студентов. VT располагает исследовательским портфолио в \$513 млн, в том числе ряд проектов в области устойчивости, связи и электроэнергетики.



**Кристофер Зобель**  
(Christopher Zobel)

Кристофер У. Зобель является профессором Информационных технологий бизнеса в Памплин Колледже Бизнеса Политехнического университета Виргинии. Получил степень Ph.D. по систем-

ной инженерии в VT, магистерскую степень в Университете Северной Каролины в Чапел-Хиллс. В его основные сферы интересов входят управление в критических ситуациях и поставки гуманитарной помощи. Его работы опубликованы в таких журналах как Decision Sciences, Decision Support Systems, Supply Chain Management и

многих других. Он является одним из соредакторов книги *Advances in Managing Humanitarian Operations*, которая является частью раздела *Операционных исследований и Управленческих наук* в Международной серии Springer. В настоящее время Кристофер Зобель является одним из директоров Междисциплинарной программы последипломного образования Политехнического университета Вирджинии по Устойчивости к бедствиям. В 2015 году он был стипендиатом программы Фулбрайт в Карлсруэ, Германия. Он входит в состав совета директоров Международной ассоциации по изучению информационных систем кризисного реагирования и управления (ISCRAM), а также является членом института Принятия решений (DSI), Института Операционных исследований и Управленческих наук (INFORMS) и Общества Управления производством и Операциями (POMS).



**Клаус Мольтнер**  
(Klaus Moeltner)

Клаус Мольтнер и Джек Коэн работают над вопросами энергетической и экологической экономики, а также прикладной эконометрики. В течение последних нескольких лет они занимались

исследованиями в области энергетических и экономических последствий перебоев в подаче электроэнергии. Мольтнер – экономист с опытом работы в области рекреационных и природных ресурсов, а также прикладной эконометрики. Основным направлением его исследовательской программы является оценка денежной ценности рекреационных и природных ресурсов, таких как чистый воздух, вода, здоровье лесов, снижение риска наводнений, надёжная энергия и рекреационные возможности. Эти значения являются критически важными для обоснованного сравнения выгод и затрат мер экологической политики. В последние годы Клаус Мольтнер способствовал кооперации между Институтом Энергетики (EI) Линцкого Университета (JKU), Австрия, и Политехническим университетом Виргинии в Блэесбурге, штат Виргиния. В рамках этого сотрудничества он принимал участие в нескольких грантовых проектах по надёжности энергетики и приемлемости инфраструктуры энергетики, управляемой EI-JKU. Он был ведущим докладчиком на симпозиуме «Общественное признание электроэнергетической инфраструктуры», проходившем в Линцском Университете в июне 2014 года. На протяжении работы Клауса публиковались во всех ведущих журналах его области, а также высокорейтинговых журналах, посвящённых общей экономике. Он был руководителем более чем 20 грантовых проектов на общую сумму около \$ 3 млн. Также он занимает должность соредатора журнала «Рекреационная и ресурсная экономика».



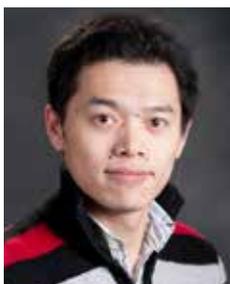
**Джек Коэн**  
(Jed Cohen)

Джек Коэн – аспирант и научный сотрудник департамента сельскохозяйственной и прикладной экономики Политехнического университета Виргинии, США. Джек в течении года работал в

Институте энергетики Линцкого Университета в рамках проекта кооперации. Он продолжает сотрудничать с европейскими коллегами по исследовательским проектам, связанным с декарбонизацией и связанной реструктуризацией европейской электрической сети. Джек специализируется на эконометрических методах, применяя их в различных отраслях в контексте экономики, включая энергетику, лесное хозяйство, окружающую среду и изменение климата. Не смотря на короткую исследовательскую деятельность, он является автором многочисленных публикаций, включая публикации в ведущих энергетических и экологических журналах. В 2013 году Джек получил награду за Выдающуюся тематику Магистерской работы от Национальной ассоциации Сельскохозяйственной и Прикладной Экономики за его работу по экономической оценке воздействий от вредителей леса. Джек надеется продолжить свои исследования в энергетике и окружающей среде с акцентом на воздействие изменения климата на глобальное движение к низкоуглеродистым энергетическим системам.

## Программа объединения человека и окружающей среды (Human and Environment Linkage Program)

Программа объединения человека и окружающей среды (HELP) является некоммерческой организацией, базирующейся в Калифорнии, США и Пекине, Китай. HELP фокусируется на пересечении управления рисками от стихийных бедствий, развития общества и сохранения окружающей среды в экологически уязвимых районах, в развивающихся странах, с текущим географическим акцентом на Юго-Запад Китая. HELP работает с различными заинтересованными сторонами через государственные и частные сектора, академические круги и гражданские общества для совместной поддержки сообществ, которые сталкиваются с многочисленными проблемами пилотных и применяемых на практике, комплексных и адаптивных стратегий управления в целях повышения устойчивости. С 2012 года HELP работает в Китае в качестве дочерней компании «Благотворительного фонда Cheung Kong» в рамках китайского фонда Красного Креста. Приоритет в миссии HELP в том, чтобы способствовать распространению информации и практики, посредством проведения мероприятий по реализации на местах, проведению исследований и внедрению инновационных коммуникаций, в общественных и гражданских секторах в Китае.



**Вэй Лиу**  
(Wei Liu)

Доктор Вэй Лиу прошел обучение в области биологии и экономики в Пекинском университете в Китае, а затем получил степень магистра в области экологии в Университете штата Айова и докторскую степень в области развития охраны природы в Университете штата Мичиган в США. Его исследование включает в себя управление рисками от стихийных бедствий, социально-экономическое развитие и управление экосистемами. Он является автором и соавтором ~ 30 рецензируемых статей в ведущих международных журналах, таких как *Ambio*, *Биологическое сохранение*, журнал *Управление окружающей средой*, и *PNAS*, в том числе обеспечивает консультационные услуги ряду правительственных учреждений и международных неправительственных организаций,

таких, как ЮНЕСКО и МСОП на темы: социально-экологические, климатические и / или риски бедствий и устойчивости. Он является одним из основателей и исполнительным директором Программы объединения человека и окружающей среды в США и Китае на основе НПО, работающей в области управления и помощи в чрезвычайных ситуациях, а также проводящему проекты по снижению уровня бедности. Как ученый-исследователь в программе рисков и устойчивости Международного института прикладного системного анализа (IIASA), он работает с научными и практическими сотрудниками в частности сочетая научный подход в методологии научных исследований с процессом участия заинтересованных сторон и граждан в изучения инновационных решений для повышения потенциала сообщества противодействий бедствиям в Непале, Индонезии и других странах. В настоящее время его исследования в IIASA, в том числе и при написании этой главы, поддерживается Цюрихским альянсом по подготовке к наводнениям.

## Секретариат Энергетического Сообщества (Energy Community Secretariat)

Энергетическое сообщество является международной организацией, которая объединяет Европейский Союз и его соседей по созданию интегрированного общеевропейского энергетического рынка. Организация была основана в соответствии с Договором о создании Энергетического сообщества, подписанного в октябре 2005 года в Афинах, Греции, и начала свою работу с июля 2006 года. Основной целью Энергетического сообщества является расширение рыночных правил внутренней торговли энергией в ЕС и её принципы в странах Юго-Восточной Европы, Черноморского региона и за его пределами на основе юридически обязательной нормативной базы.

По состоянию на январь 2016 года Энергетическое сообщество состоит из девяти членов: Европейский Союз и восемь Договаривающихся Сторон - Албания, Босния и Герцеговина, Косово\*, бывшая югославская республика Македония, Молдова, Черногория, Сербия и Украина. Грузия, Армения, Норвегия и Турция участвуют в качестве наблюдателей. ECDSO-E устанавливается в качестве форума для обсуждения и координации платформы операторов системы распределения из Энергетического сообщества, созданного для содействия обсуждению, обмену опытом, обмену мнениями и инициативами среди специалистов, заинтересованных в работе системы распределения.



**Милка Мумович**  
(Milka Mumovic)

Милка Мумович является экспертом в области электричества и статистики в Секретариате Энергетического сообщества, Вена. До прихода в Секретариат Энергетического Сообщества в 2009 году

г-жа Мумович работала в энергоснабжающей компании Электропривреда Республики Сербия в ходе реализации

проекта реконструкции мощности в Боснии и Герцеговине и в Агентстве по регулированию в области энергетики Сербской Республики. Ее ключевые компетенции связаны с экономикой энергетических предприятий и регулированием цен, бизнес-анализом, финансовым учетом и контролем, структурой затрат и тарифо-образованием. В Секретариате Энергетического Сообщества, в дополнение к контролю за осуществлением Договора в вопросах рынка электроэнергии и статистики, она отвечает за поддержку и проведение консультаций и обмена опытом в рамках электронной координационной платформы для DSOs из Энергетического сообщества (ECDSO-E).

\* Все рекомендации относительно Косово, касающиеся территориальных институтов и населения в этом тексте следует понимать в полном соответствии UNSCR 1244.

## Секретариат Энергетической Хартии (Energy Charter Secretariat)

Роль Секретариата Энергетической Хартии состоит, в первую очередь, в организации Конференции Энергетической Хартии, как основного органа принятия решений, всей необходимой помощью для выполнения своих обязанностей и выполнении возложенных на него функций по Договору к Энергетической Хартии или в любом протоколе и любых других функций, возложенных на него Конференцией Хартии. Секретариат, таким образом, ответственен и подотчётен Конференции Хартии.

Генеральный секретарь является главным представителем Секретариата, он назначается Конференцией Энергетической Хартии на максимальный срок пять лет.

Функции секретариата:

- контролировать выполнение Договора к Энергетической Хартии и обязательств Протокола;
- организовывать и управлять заседаниями Конференции Энергетической Хартии и ее вспомогательных органов;
- оказывать аналитическую поддержку и консультации Конференции Энергетической Хартии и ее вспомогательных органов по всем аспектам деятельности Энергетической Хартии;
- представлять Конференцию Энергетической Хартии в развитии ее отношений с государствами в неё не входящими, и другими соответствующими международными организациями и учреждениями;
- поддерживать переговоры по новым проблемам, санкционированным Конференцией.



**Kanat Botbaev**  
(Kanat Botbaev)

Эксперт, Секретариат  
Энергетической Хартии.

Канат Ботбаев вошел в Секретариат Энергетической Хартии в июне 2012 года. Он является выпускником

Американского университета в Центральной Азии. Он имеет большой опыт работы как в государственном, так и в частном секторах. Он начал свою карьеру в Государственном агентстве энергетики – регулирующей комиссии для энергетического сектора в Кыргызской Республике. Он также занимался координацией энергетических инвестиционных проектов во время его службы в Государственной инвестиционной комиссии и Министерстве финансов. Он имеет более чем десятилетний профессиональный опыт работы с трансграничными водными и энергетическими проблемами в Центральной Азии, программами управления спросом на электроэнергию, разработкой планов роста минимальной стоимости для энергетического сектора, аудитом практики управления компаниями распределения электроэнергии и других проектов. В настоящее время в качестве сотрудника Секретариата он несет ответственность за поддержку Группы по торговле, транзиту и координации деятельности, связанной с региональным энергетическим сотрудничеством, в том числе Центральной и Южной Азии, Южного Кавказа и Северо-Восточной Азии.



**Ирина Де Мейер**  
(Irina De Meyer)

Младший помощник по  
правовым вопросам,  
Секретариат Энергетической  
Хартии.

Ирина Де Мейер вошла в Секретариат Энергетической Хартии в октябре 2013 г. Она является выпускником Университета Маастрихта (University of Maastricht) (магистр в области европейского права) и Свободного университета Брюсселя (ведущий специалист в области международного коммерческого права). Она начала свою карьеру в качестве координатора торговли в Секретариате Энергетической Хартии, а также отвечала за осуществление торговых положений Договора к Энергетической Хартии (ДЭХ), следила за развитием событий в ВТО (переговорах о Соглашении экологических товаров), а также за организацией Энергетической Хартией практикумов и семинаров в помещениях ВТО в Женеве. Она провела исследование по вопросам транзита газа между Украиной и Россией и потенциал Механизма раннего предупреждения в модели Энергетической Хартии («Механизм раннего предупреждения Энергетической Хартии: 2014, вопросы транзита Россия-Украина-ЕС», У. Руснак (U. Rusnák), И. Де Мейер (Irina De Meyer), Секретариат Энергетической Хартии). В настоящее время, в качестве члена юридического отдела Секретариата, она работает над юридическим комментарием к положениям ДЭХ и обеспечивает общую поддержку правового совета Секретариата.

## RTE (RTE)

RTE является французским оператором системы передачи, который обеспечивает экономичное, надежное и доступное электроснабжение. RTE опирается на 3 задачи: оптимизация работы французской энергетической системы, безопасность поставок электроэнергии потребителям и адаптация системы передачи энергии. RTE эксплуатирует самую большую сеть в Европе, которая состоит почти из 105 000 км линий электропередачи. Из них 46,2% линии экстремально высокого напряжения (400 и 225 кВ) для передачи электроэнергии на большие расстояния и до 48 трансграничных связей с соседними странами. Линии на 150, 90 и 63 кВ предназначены для распределения электроэнергии. RTE ведет постоянный диалог со своими европейскими партнерами, в частности, через Европейскую сеть операторов систем передачи электроэнергии ENTSO-E, в котором RTE является активным членом.



**Эрик Андреини**  
(Eric Andreini)

С 1983 года Эрик работал в EDF и RTE решая различные задачи в области выработки и транспортировки электроэнергии, он проводил обслуживание, инжиниринг и выполнял служебные обязанности

в качестве руководителя французской электрической сети, например, он был заместителем директора RTE в области Парижа и Нормандии, генеральным директором регионального центра управления RTE по финансам в Западной области и инженером выпускником Ecole Nationale Supérieure Arts&Metiers.

Эрик присоединился к European Affairs Division в январе 2012 года, там он отвечает за управление активами, техническое обслуживание и инженерия на европейском уровне. Он является председателем рабочей группы реализации активов и управления ENTSO-E. Он также обеспечивает внутреннюю координацию для RTE деятельности ENTSO-E в Asset Management и организует связь с оперативными отделами RTE специальными национальными центрами экспертизы, службами технического обслуживания и R & D.

## Федеральное управление гражданской защиты и помощи при стихийных бедствиях (Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance)

Федеральное управление гражданской защиты и помощи при стихийных бедствиях (на немецком языке: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – BBK) является федеральным органом в составе Федерального министерства внутренних дел. Оно выполняет задачи, связанные с мерами гражданской безопасности в тесном сотрудничестве с несколькими немецкими Федеральными землями, с органами власти на всех уровнях управления, а также с организациями и учреждениями, работающими в сфере гражданской защиты. Некоторыми примерами его задач являются: координация национального анализа рисков, разработка рамочных концепций для гражданской защиты, предупреждение и информирование населения, образование и профессиональная подготовка руководителей и менеджеров из сектора оценки гражданской безопасности, а также сотрудничество инфраструктурных операторов по защите критических инфраструктур.



**Кристина Эйсманн**  
(Christine Eismann)

Кристина Эйсманн работает в подразделении по защите жизненно важных инфраструктур, с акцентом на энергетические инфраструктуры. Она отвечала за различные проекты по предотвращению и подготовке к системным авариям, а также сотрудничает в различных группах по работе с операторами и органами по защите критических инфраструктур. До прихода в Федеральное управление гражданской защиты и помощи от стихийных бедствий, она руководила исследованиями рисков в университете Бонна, факультет географии.

## Швейцарский федеральный технологический институт Цюриха (ETH) (Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH))

Лаборатория анализа безопасности во главе с профессором, доктором Вольфгангом Крогером (Wolfgang Kröger) была основана в 1990 году в рамках технологического института энергетики на кафедре механических и технологических процессов, ETH Цюрих. Научно-исследовательские и учебные мероприятия были направлены на моделирование и симуляцию крупномасштабных технических систем с учетом надежности, уязвимости и риска. Центр разработал основы, методы и инструменты для удовлетворения текущих требований и будущих вызовов при проектировании и эксплуатации систем. Основные проекты направленные на (а) предоставление методов и данных, пригодных для модели анализа / моделирования и оптимизации сложных инженерно-технических систем, таких как критические инфраструктуры в области энергетики, транспорта и их взаимосвязанности, (б) разработка основы для анализа риска и уязвимости и стратегий, связанных с управлением, (с) предоставление инструментов для процессов принятия решений и их применение в рамках программ защиты критических инфраструктур. Кроме того, были предприняты усилия для развития понятия технического риска на более широкий социальный контекст и сформулировано такое понятия, как "устойчивость".



**Профессор, доктор  
Вольфганг Крогер**  
(Wolfgang Kröger)

Вольфганг Крогер родился в Германии. Он являлся профессором Безопасности Технологий в ETH Цюрих с 1990 и директором лаборатории анализа безопасности Департамента механического и технологического машиностроения. Одновременно до избрания основным ректором Международного совета по управлению рисками, Женева, в 2003 году возглавил отдел по ядерной энергетике и исследованиям в области безопасности в швейцарском национальном Институте Поля Шрера (Paul Scherrer Institut (PSI)), где он был также членом совета директоров. После его выхода на пенсию в начале 2011 года он стал исполнительным директором вновь созданного Центра ETH по рискам и окончил деятельность на этой должности в конце 2014 г. В настоящее время он выступает в качестве консультанта по вопросам будущих технических систем.

Профессор Крогер изучал машиностроение в Аахене, Германия, и защитил свою докторскую степень в 1974 году. В настоящее время он, главным образом, вовлечен в деятельность по методическим вопросам, касающимся моделирования и анализа сложных взаимосвязанных технических систем, таких как критические инфраструктуры. Он работает над проблемами снижения рисков и повышения устойчивости критических инфраструктур. Он занимается проблемами оценки и управления технологическими рисками в широком контексте и предлагает передовые инструменты для процессов принятия решений. Среди прочего он избирался членом Швейцарской Академии инженерных наук, возглавлял местную платформу "Риск" и был удостоен премии «Distinguished Affiliate Professor» в техническом университете Мюнхена. Совсем недавно, он стал членом Международной группы Японского института ядерной безопасности и работал в специальной консультативной группе по "Энергетической дорожной карте ЕС до 2050 года" в качестве эксперта в миссии ОБСЕ в Армении, Грузии и Белоруссии. Он является автором / соавтором многочисленных публикаций и книг, последние по темам "Радиоактивные отходы", "Уязвимость систем", "Сети" опубликованные в журналах издательства Springer.

### Лаборатория Надежности и инженерного риска

во главе с профессором, доктором Джованни Сансавини (Giovanni Sansavini) была создана в июне 2013 года в рамках технологического института энергетики на кафедре механических и технологических процессов, ЕТН Цюрих. Исследования лаборатории Надежности и инженерного риска направлены на развитие гибридных аналитических и вычислительных средств, пригодных для анализа и моделирования поведения отказов спроектированных сложных систем. Лаборатория стремится количественно определить и оценить надежность, риски и устойчивость в рамках этих систем и ориентируется на высокую степень интеграции сетей энергоносителей, энергоснабжение с высокими внедрением возобновляемых источников энергии, связи, транспорта и других физически подключенных к сети критических инфраструктур. Основные направления исследований включают в себя: моделирование и защиту от сбоев в каскадных взаимозависимых сетях энергоносителей, например, электроэнергетическая и газоснабжающая системы; анализ уязвимости взаимозависимой кибер-физической инфраструктуры, например, сети связи в рамках Smart Grid; оптимальное восстановление производительности после аварий; принятие решений для энергетических систем в условиях неопределенности.



### Профессор доктор Джованни Сансавини (Giovanni Sansavini)

Джованни Сансавини начал работать к ЕТН Цюрих в июне 2013 года, в качестве помощника профессора по теме надежности и инженерного риска в Департаменте

механического и технологического машиностроения (D-MAVT). Он получил степень бакалавра в области Энергетики в 2003 году и степень магистра в области ядерной инженерии в 2005 году в Политехническом университете Милана (POLIMI). В 2010 году в рамках программы степени двойной докторантуры Атлантис (Atlantis Dual Doctoral Degree Program), он получил докторскую степень в области радиационной науки и техники от POLIMI и степень доктора в области машиностроения в Virginia Tech. Его докторская диссертация, направлена на разработку методологии для оценки критической уязвимости инфраструктур с точки зрения теории сложных систем.

## Центр анализа и мониторинга экологического риска (AMRA) AMRA (Center for the Analysis and Monitoring of Environmental Risk)

AMRA является полностью публичной, некоммерческой организацией, созданной пятью государственными университетами региона Кампания (Campania Region) (Италия) и тремя национальными государственными научно-исследовательскими институтами (CNR, INGV и зоологической станцией "Антон Дорн" ("Anton Dohrn")). AMRA работает в области естественных и антропогенных оценок и снижения рисков, включая оценку воздействия на окружающую среду, связанную с энергетическими технологиями. Ранние методы предупреждения и количественные методы оценки вероятностных множественных факторов риска исторически были основой его деятельности. В последнее время оценка воздействия на окружающую среду энергетических технологий стала одним из наиболее стратегически важных областей исследований AMRA.



**Александр  
Гарсия Аристизабал**  
(Alexander  
Garsia-Aristizabal)

Кандидат геофизических наук, старший научный сотрудник AMRA. Его основные интересы включают в себя байесовский анализ данных, стохастическое моделирование в геофизике и вычислительные методы для случайных процессов. Его исследовательская деятельность в основном сосредоточена в использовании байесовских методов применительно к обратным задачам геофизики, анализе экстремальных значений, учитывающем многообразие факторов риска и оценки мульти-риска.

## Центр по борьбе со стихийными бедствиями и технологиям по снижению риска

### Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology

Центр по борьбе со стихийными бедствиями и технологиям по снижению риска (CEDIM, [www.cedim.de](http://www.cedim.de)) является междисциплинарным центром в Технологическом институте Карлсруэ (KIT), целью которого является разработка методологий оценки риска, в контексте стихийных бедствий. Уже 5 лет Центр фокусируется на близкой к реальному времени оценке (судебно-медицинской экспертизе) ущерба в случае землетрясений, тропических циклонов и наводнений. В качестве косвенных потерь, вызванных прекращением услуг, играет все возрастающую роль в развитых обществах смещение нашего нынешнего интереса в сторону потерь инфраструктуры и разработки концепций повышения устойчивости критических инфраструктур, в том числе сетей электроснабжения. CEDIM является частью инициативы IRDR под эгидой ICSU.



**Профессор  
Фридман Венцель**  
(Prof. Friedemann Wenzel)

Фридман Венцель (родился в 1951 г.) является профессором и директором Геофизического института Технологического института в Карлсруэ (KIT). До того, как стать доктором философии в Университете Карлсруэ в 1985 году, он был научным сотрудником в Ламонт-Дохерти (Lamont-Doherty) Геологической обсерватории Колумбийского университета, Нью-Йорк (1979–1981). После 3-х лет работы в качестве доцента Геофизического института в Карлсруэ он стал главным научным сотрудником организации Содружества по научным и промышленным исследованиям Отдела гео-научного исследования, Сидней, и сотрудником в Школе наук о Земле университета Маккуори (Macquarie), Сидней (1990–1992), директором департамента «Структура Земли» в Центре гео-исследований (GeoForschungs Zentrum) в Потсдаме, и профессором геофизики Потсдамского университета (1992–1994), а в 1994 году – профессором Геофизического института в Карлсруэ.

С 1996 по 2006 год он координировал Объединенный исследовательский центр: «Сильные землетрясения – вызов для землеведения и гражданского строительства» в Университете Карлсруэ, финансируемый Национальным фон-

дом исследований (DFG), в период с 1996 г. по 2001 г. был главным редактором журнала «Тектонофизика»; выступал в 1998 году в качестве со-лидера (совместно с доктором Фуадом Бендимирадом (Fouad Bendimerad, США) в «Землетрясение и инициатива мегаполисов», работающей под эгидой ЮНЕСКО и ICSU; координировал между 2006 и 2012 CEDIM (Центр по борьбе со стихийными бедствиями и технологиями по снижению риска.); в период между 2000 и 2004 годами работал в качестве вице-председателя Немецкого комитета по уменьшению опасности стихийных бедствий и был председателем его Научного совета; является с 2002 года членом Гейдельбергской академии наук и академии гуманитарных наук; с 2003 года – почетный профессор Бухарестского университета; с 2006 г. член Академии Европы.

Область научных интересов между 1979 и 1994 годами была сосредоточена на методах отображения сейсмической обработки данных и численного моделирования пространства упругих волн, в том числе применительно к углеводородной промышленности. Как отметил директор GFZ в Потсдаме, он инициировал национальную инструментальную программу GFZ для цифровых измерений геофизических полей. С 1994 года его научные интересы фокусируются на инженерной сейсмологии, геофизических опасностях и рисках, управления городским риском, оценке сейсмической потерь, а также на развитии устойчивых систем.

## Электро Любляна (Electro Ljubljana)

Миссия, видение, ценности изложены на сайте <http://www.elektro-ljubljana.com/2/About-Us/Mission-Vision-Values.aspx>. Миссия: Мы сеть с позитивной энергией. Электро Любляна обеспечивает надежную, безопасную, качественную и устойчивую систему распределения электроэнергии путем объединения самых передовых услуг из области энергоснабжения. Электро Любляна интегрирует потребности своих потребителей, владельцев и сотрудников за более чем 115 лет. Видение: Предоставляя эффективные, инновационные и комплексные решения в области электроснабжения, Электро Любляна остается ведущим партнером в развитии энергетики на национальном и местном уровнях, а также ведущей компанией по управлению сетью современной электроэнергетической инфраструктуры, удачно обеспечившей доходность для владельцев и условия мотиваций для работников компании.

Электро Любляна способствует развитию диалога с работниками, владельцами, партнерами по проектам в широкой среде. Электро Любляна развивает лучшие долгосрочные решения для всех заинтересованных сторон. Угрозы и благоприятные возможности объединяются и повышают системные услуги (решения), влекущие рост среднего качества и добавленной стоимости. Традиция сочетается с инновацией, знанием и любопытством. Электро Любляна стимулирует цикл экологически чистого технологического развития.



**Матиаш Кершник**  
(Matjaž Keršnik)

Матиаш Кершник является руководителем технического обслуживания и развития службы координации, эксплуатации и развития распределительной сети в Электро Любляне. Он также является членом международного комитета СИГРЭ.







**Организация по безопасности и  
сотрудничеству в Европе (ОБСЕ)**

Wallnerstrasse 6  
A-1010 Vienna, Austria  
Tel.: +43 1 514 360

info@osce.org  
www.osce.org

 [facebook.com/osce.org](https://facebook.com/osce.org)

 [@osce](https://twitter.com/osce)

 [youtube.com/osce](https://youtube.com/osce)

# Защита электрических сетей от природных рисков



Организация по безопасности и  
сотрудничеству в Европе