

УДК 338.45

DOI: 10.28995/2073-6304-2021-2-8-23

Сетецентрический подход к управлению субъектами рынка в условиях цифровой трансформации электроэнергетики

Валентин Я. Афанасьев

*Государственный университет управления
Москва, Россия, vu_afanasyev@guu.ru*

Сергей В. Мищеряков

*Корпоративный энергетический университет
Москва, Россия, msv@keu-ees.ru*

Дмитрий С. Подольский

*Корпоративный энергетический университет
Москва, Россия, nauka-ds@yandex.ru*

Аннотация. В статье изложены результаты исследований по разработке структуры, методов и технологий управления Единой энергетической системой (ЕЭС) России в условиях цифровой трансформации электроэнергетики. В результате анализа опыта управления сложными социо-технологическими системами (СТС) на примере ЕЭС России и современных достижений цифровых технологий определены основные направления формирования сетецентрического подхода к обеспечению надежности энергоснабжения потребителей и энергетической безопасности страны в обычных условиях эксплуатации и при чрезвычайных ситуациях, проведен сравнительный анализ структур и представлены примеры практически реализованных фрагментов этих систем. В статье представлена стратификация контуров управления и структура онтологического моделирования функционирования всей системы управления ЕЭС, определены и математически обоснованы алгоритмы формирования решений на управление энергообъектами от уровня Национального центра управления в кризисных ситуациях до оперативного персонала, осуществляющего ведение режима энергосистем и энергообъектов. Приведенные примеры работающих систем, ГИСТЭК (Государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса) и СМЗУ (системы мониторинга за-

пасов устойчивости) подтверждают на практике правильность выбранных решений сетецентрического подхода управления ЕЭС России. Положения, изложенные в статье, определяют направление развития цифровых комплексов управления СТС.

Ключевые слова: Единая энергетическая система России, социо-технологические системы, сетецентрический подход, онтологическая модель, структура управления

Для цитирования: Афанасьев В.Я., Мищеряков С.В., Подольский Д.С. Сетецентрический подход к управлению субъектами рынка в условиях цифровой трансформации электроэнергетики // Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». 2021. № 2. С. 8–23. DOI: 10.28995/2073-6304-2021-2-8-23

Network-centric approach to managing the market entities in the context of the digital transformation of the electric power industry

Valentin Ya. Afanas'ev

State University of Management, Moscow, Russia, vy_afanasyev@guu.ru

Sergei V. Mishcheryakov

Corporate Energy University, Moscow, Russia, msv@keu-ees.ru

Dmitrii S. Podol'skii

Corporate Energy University, Moscow, Russia, nauka-ds@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of research on the development of the structure, methods and technologies for managing the Unified Energy System (UES) of Russia in the context of the digital transformation of the electric power industry.

The analysis of the experience of managing complex socio-technological systems (STS) on the example of the UES of Russia and modern achievements in digital technologies resulted in defining the main directions of the formation of a network-centric approach to ensuring the reliability of energy supply to consumers and the country's energy security in normal operating conditions and in emergency situations. A comparative analysis of the structures is carried out and examples of practically implemented fragments of the above systems are presented. The article also presents the stratification of control loops and the structure of ontological modeling for the functioning of the entire UES control system. It defines and mathematically substantiates the algorithms for forming decisions for the managing the power facilities in the level range from of the National Crisis Management Center to the operational personnel responsible for maintaining the mode of power systems and power facilities. The given examples of operating systems, SISFEC (state information system of the fuel and energy complex) and SRMS (stability reserve monitoring systems) ac-

tually confirm the correctness of the selected solutions of the network-centric approach to managing the UES of Russia. The provisions set out in the article determine the direction in developing the digital control systems for STS.

Keywords: Unified Energy System of Russia, socio-technological systems, network-centric approach, ontological model, management structure

For citation: Afanas'ev, V.Ya., Mishcheryakov, S.V. and Podol'skii, D.S. (2021), "Network-centric approach to managing the market entities in the context of digital transformation of the electric power industry", *RSUH/RGGU Bulletin. "Economics. Management. Law" Series*, no. 2, pp. 8-23, DOI: 10.28995/2073-6304-2021-2-8-23

Перспективы внедрения пятого поколения мобильной связи 5G открывают возможности применения сетецентрического принципа при управлении в электроэнергетике, где от скорости передачи данных и качества принятия решений зависит системная надежность Единой энергосистемы России¹.

Первоначально сетецентрический принцип управления был применен в военной операции США «Буря в пустыне» (Operation Desert Storm, 17 января – 28 февраля 1991 г.), заключающийся в том, что каждая единица военной техники, солдаты, данные разведки и др. были объединены в единую информационную сеть и после соответствующей обработки информация представлялись командирам на планшете для принятия решений.

Классическая сетецентрическая система управления имеет специальную многослойную структуру. Минимальная конфигурация – три слоя. Первый слой состоит из лиц, принимающих решения, специализирующихся в конкретных областях и вопросах. Они готовят информацию и формируют промежуточные решения для второго слоя, ответственного за тактические решения. Третий слой на основе этих директив формирует оперативное управление, которое поступает на исполнительные органы. Подобная конфигурация позволяет принимать интегральное самосогласованное решение, которое обладает высоким синергическим потенциалом в силу своей близости к оптимуму [Иванюк, Абдикеев Пашенко, Гринева 2017].

Под сетецентричностью понимается принцип организации систем управления, позволяющий реализовать режим понимания

¹ Интервью с Председателем Совета Директоров Фонда «Сколково» В.Ф. Вексельбергом [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tv.rbk.ru> (дата обращения 25 октября 2020).

ситуации (Situational Awareness). Успешное решение задач управления в рамках сетецентрического подхода заключается в поддержании системы в настолько это возможно полном и достоверном состоянии, в первую очередь за счет включения в этот процесс максимального количества доступных источников первичной, оперативной информации.

Стоит отметить: некоторые авторы утверждают, что ведение сетевой войны предполагает отказ от классической иерархической системы управления войсками, поскольку общим принципом построения военной сетевой организации является «неформальный характер взаимоотношений в организации, когда горизонтальным связям между элементами группы придается гораздо большее значение, чем вертикальным» [Хамзатов 2006].

Также предлагается отказ от иерархической системы управления, когда решение принимает один человек, и переход к коллективному принятию решения. Однако такой подход не всегда оправдан, например при выдаче диспетчером системного оператора оперативных команд при управлении энергосистемой.

На наш взгляд наиболее перспективно применение сетецентрических систем поддержки принятия решения в области информационных систем управления с источниками информации двух типов (технологических компонентов: телеметрии и «ручной ввод данных»), которые могут масштабироваться как в территориальном, так и в организационном и корпоративном измерениях.

Сетецентрическая архитектура систем поддержки принятия решения для субъектов рынка, предприятий, генерирующего и сетевого профилей является принципиальным требованием. Она в обозримом будущем является безальтернативной. В энергетике можно выделить пять контуров управления:

- контур управления чрезвычайными ситуациями (основная задача – обеспечение жизнедеятельности регионов), субъект управления – Национальный центр управления в кризисных ситуациях (МЧС);
- контур обеспечения энергетической безопасности (основная задача – обеспечение энергобезопасности), субъект – САЦ Минэнерго России;
- контур управления ЕЭС России (основная задача – обеспечение системной надежности ЕЭС России), субъект – ЦДУ;
- контур оперативного управления энергообъектом (основная задача – сведение баланса производства и потребления энергии), субъект – оперативно-диспетчерские службы объединенных диспетчерских управлений и оперативный персонал;

- контур управления хозяйствующего субъекта (основная задача – получение прибыли), субъект управления – собственник энергообъекта.

Предлагаемый подход позволяет превратить систему поддержки принятия решения в постоянно развивающийся инструмент, который изначально должен строиться как система-конструктор, обеспечивающая гибкий выбор, комбинацию и настройку необходимого состава приложений под решаемые задачи. Приложения должны гибко и органично комбинироваться, так как построены с использованием единой онтологии². Принципиальным методологическим требованием и новизной является переход от локальных инфраструктурных решений к единой распределенной информационной телекоммуникационной инфраструктуре с использованием специализированных центров обработки данных (ЦОДов) и цифровых платформ. Система поддержки принятия решения должна строиться как сетевая, хорошо масштабируемая, территориально и корпоративно распределенная система, с использованием облачных технологий и решений «платформа как услуга» (PaaS)/«программное обеспечение по требованию» (SaaS). При таком подходе появляется реальная возможность сократить стоимость владения информационными системами и перейти на новую модель отношений, заменить поставку информационных систем оказанием услуг по поставке гибко настраиваемых и управляемых сервисов.

В СППР должна быть реализована идеология масштабируемости и связности приложений первого и второго компонентов за счет использования единой онтологической модели. Работа двухкомпонентной СППР, реализуемой в предприятиях генерирующего и сетевого профилей, должна обеспечиваться функционированием приложений первого и второго компонентов, которые опираются на кластер кросс-контурных приложений – единую онтологическую платформу для двухкомпонентной системы поддержки принятия решения.

Кросс-контурные приложения должны быть базовыми для СППР и должны взаимодействовать с приложениями как первого, так и второго контуров.

В основе работы первого контура должны лежать сетевые приложения, обеспечивающие мониторинг общей и оперативной обстановки в части выполнения задач оперативного и хо-

² Под онтологической моделью понимается концептуализированное представление информации о какой-либо области реальности в электронном виде.

зайтвенного управления предприятий генерирующего и сетевого профилей на основании полученной телеметрической и семантической информации.

В основе работы второго контура должны лежать сетецентрические приложения, обеспечивающие мониторинг общей и оперативной обстановки в части выполнения задач предприятий генерирующего и сетевого профилей на основании (как правило исключительно) текстовых сообщений, формируемых оперативным (диспетчерским) персоналом предприятий генерирующего и сетевого профилей и находящихся под их управлением диспетчерским персоналом.

В настоящее время в целях государственного управления и регулирования в электроэнергетике для решения этих задач применяются информационно-аналитические системы, использующие преимущественно статистические данные, обладающие низким уровнем оперативности, достоверности и связности за счет человеческого фактора.

Указанные системы имеют собственные базы данных, чаще всего с уникальной структурой и моделью организации, хранения и представления информации, собственные интерфейсы и отчетность.

Обмен данными между различными системами либо не организован, либо требует дополнительных затрат на доработку каждой из систем и организацию общего интерфейса.

Внедрение каждой новой системы, а часто и новой функции имеющейся системы, требует значительных финансовых затрат на адаптацию всех сопряженных систем и баз данных.

В России приняты ГОСТ Р 58651.1–2019 «Информационная модель электроэнергетики. Основные положения» и ГОСТ Р 58651.2–2019 «Информационная модель электроэнергетики. Базисный профиль информационной модели», которые определяют требования к профилям информационных моделей и организации информационного обмена в электроэнергетике и устанавливают состав информационной модели для обеспечения однозначной интерпретации передаваемых и получаемых данных всеми участниками информационного обмена в электроэнергетике. Принятие ГОСТов дает дополнительный импульс процессу по разработке единых отраслевых классификаторов основного технологического оборудования, формирования единой информационной модели электроэнергетики и применения сетецентрических принципов управления. При этом каждый субъект электроэнергетики разрабатывает платформы с собственным программным кодом, соответственно далее возникает проблема интеграции платформ между собой [Грабчак, Логинов, Мищеряков 2020].

Создание единого доверенного информационного пространства и унификация информации о техническом состоянии объектов энергетической инфраструктуры позволит проводить математическую обработку полученных массивов данных для решения широкого круга расчетно-аналитических и управленческих задач, включая дистанционное конфигурирование и оценку остаточного ресурса оборудования, исполнение шлюзовых функций, реакцию на штатные и внештатные ситуации через анализ мнемосхем, анализ и предсказание развития неисправности по комбинации линейно не связанных признаков даже при незначительном изменении одиночных признаков.

Данные задачи решаются путем разработки и непрерывного совершенствования моделей нормального функционирования оборудования (на основе статистических данных) с учетом матрицы рисков и пороговых значений каждого из отдельных параметров.

Использование цифровых двойников энергообъектов с элементами искусственного интеллекта позволяет осуществить интеграцию жизненных циклов оборудования, связать показатели интерактивной оценки технического состояния оборудования по совокупности данных, поступающих с его датчиков, и процедуру определения оптимальных сроков проведения ремонтных работ.

Комплексная инструментальная поддержка процессов эксплуатации и технического обслуживания оборудования базируется на сетевом подходе, когда данные, собранные во время всего жизненного цикла, объединяются в едином центре тепловых электрических станций. Инструментальная поддержка процессов эксплуатации и технического обслуживания оборудования может быть обеспечена на основе развертывания в рамках ТЭС интегрированной информационной среды как структурированной и взаимосвязанной совокупности всех инженерных данных объекта и его оборудования.

Проведение интерактивной оценки технического состояния оборудования по совокупности данных для определения оптимальных сроков проведения ремонтных работ базируется на объединении характеристик всего оборудования в единой унифицированной цифровой модели ТЭС, которая позволяет связать территориально удаленные системы мониторинга состояния физического актива, а формирование замкнутого цикла информационного обмена между оборудованием (активом) и его виртуальной моделью на сетевых принципах позволяет реализовать автоматизированное формирование операционно-режимных управляющих действий.

Подобная управленческая технология обеспечивает управление производственными активами тепловых электрических стан-

ций на основе симуляторов и баз данных цифровых двойников энергообъектов с использованием элементов искусственного интеллекта.

В сетевом комплексе в настоящее время отраслевой рабочей группой при Минэнерго России определен следующий перечень Интеллектуальных систем управления электросетевым хозяйством (ИСУЭХ) уровня управления производственными процессами:

- системы удаленного мониторинга и диагностики, способные с использованием вероятностных и математических моделей диагностировать и прогнозировать состояние оборудования и/или его функциональных узлов;
- автоматизированные системы мониторинга и анализа функционирования устройств РЗА, выполняющие оперативную оценку с использованием ретроспективного анализа эксплуатационной готовности устройств РЗА и синтезирующие решения по принятию мер, обеспечивающих работоспособность микропроцессорных устройств;
- АСУ ТП подстанций с функциями самодиагностики и дистанционного управления, с поддержкой автоматизированных программ переключений и логических блокировок на базе информационной модели подстанции, цифровых протоколов взаимодействия между устройствами подстанции;
- АСТУ ЦУС, обеспечивающие анализ рисков отказов в сети и имитационное моделирование, а также выполняющие оптимизацию режимов работы электрической сети, оборудования ПС по совокупности заданных критериев: снижения потерь в электрических сетях и обеспечения надежного электроснабжения, обеспечивая при этом допустимость параметров режима сети и поддержание качества электроэнергии.

Для каждой из указанных систем определен перечень критериев, которые позволяют отнести их к ИСУЭХ.

Таким образом, осуществляется автоматизированный мониторинг и регулирование с заданием базовых характеристик системно-сетевого анализа цифровых данных о техническом состоянии оборудования, показателей датчиков, истории производственных и ремонтных операций, заводской (as-build) и сервисной (as-maintained) конфигураций оборудования.

Как уже говорилось выше, сетецентрический подход базируется на современных системах связи, позволяющих в реальном масштабе времени получать и передавать большие объемы информации различным потребителям, включая централизованные и распределенные системы.

Особенность данной системы управления заключается в возможности размещения децентрализованного интеллекта и децентрализованного управления на всех уровнях получения и обработки информации.

Решение в сетевцентрической системе получается путем согласования индивидуальных решений подсистем, каждая из которых (контуры управления) работает на свою цель и выполняет свои задачи. При этом внутри этих подсистем информация формируется и обрабатывается по иерархической схеме.

Одной из составляющих сетевцентрической парадигмы систем управления являются новые подходы к организации управления. Общеизвестно, что основным принципом сетевцентрических систем является принцип самосинхронизации. Данный принцип пришел из теории сложных систем. В соответствии с ним сложные явления и структуры в наилучшей степени организуются по принципу снизу вверх. По мнению западных теоретиков, «структура средств, формы и способы их использования, а также система управления будут видоизменяться по своему плану, но в соответствии с общим замыслом вышестоящего руководства» [Флеэрти, Данн, Бэджелл, Уорд 2013].

Причиной этой составляющей, то есть новых подходов к организации управления, которая потребует кардинального пересмотра, являются предоставленные новыми сетевыми решениями и информационными технологиями возможности анализа и обработки данных обстановки, организации внутренней работы органов управления и информационного обмена, как внутри, так и между пунктами управления (объектами контурами управления).

Сегодня на первый план выходит идея распределенного пункта управления, построенного на базе единой технологической платформы промышленного интернета. Его создание на основе территориального распределения, общих баз данных, мобильности всех его функциональных групп, объединенных единой коммуникационной средой, позволит существенно повысить устойчивость системы управления. Кроме того, это исключит необходимость с целью выработки согласованного решения нахождения основных должностных лиц органа управления практически всех в одном месте одновременно. Характеристики современных средств управления предоставляют руководству возможность получения информации, для принятия решений находясь в любой точке единого информационного поля управления.

В этой связи целесообразно исследовать возможные структуры сетевцентрической модели управления.

Известными являются следующие сетевые структуры.

1. *Кольцевая*. Это замкнутая структура с одинаковыми связями, в которой любые две позиции обладают двумя направлениями информационного обмена, что повышает скорость передачи информации.
2. *Сотовая*. Сложная структура с разветвленными связями, что обеспечивает высокую надежность прохождения информации.
3. *Многосвязная*. В этой структуре реализован принцип: каждый связан с каждым. Скорость прохождения информации в ней максимальна.
4. *Иерархическая*. В этой структуре реализуется принцип единоначалия [Горопашная 2009].

Она используется во многих системах, в частности в ГИС ТЭК.

Исследованы решения задач в рамках сетецентрических подходов по сбору данных об обстановке (1), оценке угроз (2), разработке альтернативных управленческих решений (3), оценке эффективности предлагаемых решений (4) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные результаты решения задач
в рамках сетецентрических подходов (составлено авторами)

№ п\п	Структура	Номер задачи	Относительное время решения, %	Правильность решения, %	Случаи отказа, %
1	Кольцевая	1	130	60	6
		2	120	55	3
		3	100	45	4
		4	200	45	9
		среднее	137,5	51,25	5,5
2	Сотовая	1	140	65	4
		2	65	85	4
		3	60	80	3
		4	130	60	6
		среднее	101,25	72,5	4,25
3	Многосвязная	1	150	90	4
		2	70	90	2
		3	50	90	2
		4	150	76	3
		среднее	105	86,5	2,75
4	Иерархическая	1	100	100	2
		2	60	85	0
		3	40	82	0
		4	110	73	2
		среднее	77,5	85	1

Согласно таблице, наиболее рациональной для решения задач является многосвязная структура, в которой каждый связан с каждым. Скорость прохождения информации в ней максимальна, правильность наивысшая, и отказы относительно других структур достаточно редки. В этой связи многосвязная структура является наиболее приемлемой для организации работы сетецентрической модели САЦ на уровне объектов, регионов (региональных штабов) и центральных органов (федерального штаба) для формирования управленческого решения. Для реализации принятых решений наиболее адекватной является иерархическая структура.

Сравнивая иерархическую и многосвязную структуры управления, необходимо учитывать существующую и перспективную конфигурацию объекта управления. В настоящее время при сохраняющейся технологической централизации ЕЭС наблюдается переход к энергетическим системам нового поколения. Признаками этого перехода являются:

1) создание систем управления региональными объектами энергетики по принципам «умная энергосистема». Суть этих систем в производстве электроэнергии там, где, когда и в каком количестве она необходима;

2) развитие технологий дальнего транспорта электроэнергии, позволяющих повысить устойчивость энергосистемы в целом;

3) развитие технологий накопления электроэнергии в энергосистеме, которые позволяют обеспечить живучесть энергосистемы. Наиболее проработанной на настоящий момент технологией является использование ГАЭС;

4) развитие распределенной генерации, позволяющее в условиях географических особенностей России обеспечить рациональную топологию энергообъектов.

Административная децентрализация объектов энергетики диктует необходимость ее учета в системах управления. На смену «умным системам» приходят «интеллектуальные системы». В этой связи применение сетецентрического подхода в управление становится наиболее рациональным.

Анализ применения сетецентрических моделей управления приводит к очевидному выводу о преимуществах интеллектуальных систем управления ресурсами, построенных на основе сетецентрического подхода. К преимуществам подобных моделей управления относятся:

- открытость к добавлению новых подсистем;
- высокое качество решений: взаимосвязанные планы согласованы;

- гибкость планирования: изменения могут быть инициированы с любого субъекта управления;
- достоверность оперативных данных: поддержка актуальности планов между подсистемами;
- производительность системы управления;
- масштабируемость системы (матрешка: нижние уровни не видны верхним, если не требуют вмешательства в управление по масштабам ЧС);
- надежность: выход одной подсистемы из строя (переход на изолированную работу) не останавливает работу всей системы;
- живучесть: даже при потере систем нижнего уровня сохраняется возможность управления системой за счет резервов из других подсистем;
- эффективность: меньше затрат на разработку и поддержку (тиражирование ячеек управления).

Практика применения сетецентрических подходов и системные исследования в рамках данной предметной области показали, что практическая реализация базового функционала управления позволит повысить реализацию потенциальных возможностей применяемых сил и средств на 25–30% [Аношкин 2014].

На основании проведенного анализа предлагается построение сетецентрической модели управления с использованием многосвязной и иерархической структуры управления в зависимости от объемов предполагаемого ущерба от ЧС. Для этого на основании ГОСТ Р 22.10.01-2001 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Оценка ущерба. Термины и определения» и определяемых им видов ущерба (допустимый, недопустимый, критический, катастрофический) формируется структура сетецентрической модели управления ЧС. Для уровней предполагаемого ущерба «допустимый» и «недопустимый» предлагается использовать многосвязную структуру. Для уровней предполагаемого ущерба «критический» и «катастрофический» – иерархическую структуру. Технологически с учетом изложенных подходов и применения онтологического моделирования – это легко осуществимо и не требует дополнительных затрат.

Например, применяемая технология СМЗУ (система мониторинга запасов устойчивости) при планировании и управлении электроэнергетическим режимом энергосистем использует

расчет допустимых перетоков в следующей последовательности³:

- прием и обработка телеметрической информации;
- оценивание состояния электрического режима;
- формирование расчетной модели;
- расчет допустимых перетоков.

На первом этапе по сбору и обработке информации может быть использован сетцентрический подход.

Таким образом, вполне обоснованно можно утверждать, что не учет возможностей и влияния парадигмы сетцентрического управления в развитии теории и практики управления энергосистемой может иметь необратимые последствия в области организации обеспечения устойчивости и живучести Единой энергетической системы России.

Известно, что особенностями ЕЭС России являются географическая распределенность на территории России ее объектов и наличие четырех контуров управления ими. Эти особенности определяют формулировку задачи управления технико-экономической системой. Реализация этих задач осуществляется на множествах выполнения работ R с использованием цифровых технологий U , при этом техническое состояние ЕЭС обозначим S , а разного рода воздействия на нее представлены набором (Q) . В общем, при управлении необходимо обеспечить устойчивое, безопасное, устойчивое и безопасное функционирование ЕЭС.

При этом все эти задачи решаются в условиях ограниченности суммарных ресурсов C_{Σ} , при решении задачи устойчивого функционирования должны быть выполнены условия:

$$|\alpha - \eta| \leq \varepsilon,$$

где α – заданный результат функционирования, η – фактически достигнутое значение результата, ε – допустимое отклонение фактического от заданного результата.

Имеется ограничение $C \leq C_{\Sigma}$, где C – израсходованные ресурсы.

Аналогично для других составляющих системной надежности – устойчивости (F).

Устойчивость и безопасность функционирования ЕЭС при управлении системной надежностью обеспечивается принятием, декомпозицией от руководителя штаба управления ЧС до опера-

³ Конференция 2018 г. по технологической деятельности АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. URL: https://www.so-ups.ru/index.php?id=conf_tech_about (дата обращения 2 февраля 2021).

тивного персонала и реализации решений во всех четырех контурах управления (множества решений по контурам V – штаб ЧС, D – САЦ и СО ЕЭС, B – хозяйствующий субъект, G – оперативный персонал) с использованием множества технологий U при техническом состоянии S и внешних воздействиях.

Тогда результаты этих решений во времени t примут вид:

$$\eta(t) = \eta(V, D, B, G, R, U, t | S, (Q)); \quad (1)$$

$$F(t) = F(V, D, B, G, R, U, t | S, (Q)); \quad (2)$$

при

$$C(V, D, B, G, R, U, t | S, (Q)) \leq C_{\Sigma}. \quad (3)$$

Гармонизация решения достигается иерархическим нормированием решений по контурам. Получен результат в задаче принятия комплексного решения при управлении системной надежностью, который представляется в виде совместной области допустимых решений (1), (2), (3) при начальном состоянии S и граничных условиях $C \leq C_{\Sigma}$.

Основными для формирования принимаемых управленческих решений являются при этом комплексные показатели: коэффициент оперативной готовности, коэффициент использования установленной мощности, средний недоотпуск продукции, средний ущерб на один отказ.

Предлагаемая совокупность методов, определяющих постановку задачи количественной оценки качества решений на использование активов, математический аппарат для решения этой задачи и последовательность операций, реализующих это решение, составляет основу методологии разработки, принятия и оценки качества принимаемых управленческих решений, в том числе в реальных условиях ЧС.

Использование сетецентрического подхода позволяет иметь информационное превосходство над иерархической системой за счет обеспечения необходимой информацией работников всех уровней и направлений фактически в реальном масштабе времени. Однако следует учитывать, что доступ к большому спектру информации получает большой круг сотрудников организации, поэтому особое внимание необходимо уделять кибербезопасности.

Таким образом, на основании анализа подходов к формированию решений с использованием вероятностных методов и аппарата нечетких множеств разработана концептуальная модель, пред-

ложены методы и алгоритмы оценки и повышения эффективности систем поддержки принятия управленческих решений и схем информационного взаимодействия между основными субъектами принятия решений по обеспечению экономической эффективности и безопасности Единой энергетической системы России в процессе эксплуатации, включая режимы управления в условиях ЧС.

Сформированы приоритетные направления при управлении системной надежностью, а именно в организационном плане формирование сетецентрической структуры функционирования энергосистем на базе единой онтологической модели с использованием облачных технологий и индустриального Интернета вещей (IIoT) для обеспечения системно-ситуационного управления системной надежностью. Такой подход необходимо использовать при управлении системной надежностью, что закладывает потенциал опережающего развития.

Литература

- Аношкин 2014 – *Аношкин И.М.* Применение технологий управления знаниями // Наука и военная безопасность. 2014. № 2. С. 56–57.
- Горопашная 2009 – *Горопашная А.В.* Методы анализа безопасности сложных технических систем: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2009. 109 с.
- Грабчак, Логинов, Мищеряков 2020 – *Грабчак Е.П., Логинов Е.Л., Мищеряков С.В.* Цифровая трансформация систем управления ТЭС: переход к интеллектуальной модели управления жизненным циклом оборудования // Вестник МИРБИС. 2020. № 1 (21). С. 76–83.
- Иванюк, Абдикеев, Пашенко, Гринева 2017 – *Иванюк В.А., Абдикеев Н.М., Пашенко Ф.Ф., Гринева Н.В.* Сетецентрические методы управления // Управленческие науки. 2017. № 7 (1). С. 26–34.
- Флеэрти, Данн, Бэджейл, Уорд 2013 – *Флеэрти Том, Данн Кристофер, Бэджейл Майкл, Уорд Оуэн.* После Фукусимы: ядерная энергетика в изменившемся мире // Атомный проект. 2013. № 13. С. 30–35.
- Хамзатов 2006 – *Хамзатов М.М.* Влияние концепции сетецентрической войны на характер современных операций // Военная мысль. 2006. № 7. С. 13–17.

References

- Anoshkin, I.M. (2014), “Application of the knowledge management technologies”, *Nauka i voennaya bezopasnost'*, no. 2, pp. 56–57.
- Fleherly, T., Dunn, Ch., Badgale, M. and Ward, O. (2013), “After Fukushima. Nuclear Energy in a Changed World”, *Atomnyi proect*, no. 13, pp. 30–35.

- Goropashnaya, A.V. (2009), *Methods of safety analysis in complex technical systems*, D.Sc. Thesis, Saint Petersburg, Russia.
- Grabchak, E.P., Loginov, E.L. and Mishcheryakov, S.V. (2020), “Digital transformation of thermal power station control systems: transition to the intellectual model of power equipment life cycle management”, *Bulletin MIRBIS*, no. 1 (21), pp. 76–83.
- Grabchak, E.P., Loginov, E.L. and Mishcheryakov, S.V. (2020), “Digital transformation of thermal power station control systems: transition to the intellectual model of power equipment life cycle management”, *Bulletin MIRBIS*, no. 1 (21), pp. 76–83.
- Khamzatov, M.M. (2006), “Influence of the concept of network-centric warfare on the nature of modern operations”, *Военная мысль*, no. 7, pp. 13–17.

Информация об авторах

Валентин Я. Афанасьев, доктор экономических наук, профессор, Государственный университет управления, Москва, Россия; 109542, Россия, Москва, Рязанский проспект, д. 99; vy_afanasyev@guu.ru

Сергей В. Мищеряков, доктор экономических наук, Корпоративный энергетический университет, Москва, Россия; 111250, Россия, Москва, ул. Красноказарменная, д. 13; msv@keu-ees.ru

Дмитрий С. Подольский, кандидат технических наук, Корпоративный энергетический университет, Москва, Россия; 111250, Россия, Москва, ул. Красноказарменная, д. 13; nauka-ds@yandex.ru

Information about the authors

Valentin Ya. Afanas'ev, Dr. of Sci. (Economics), professor, State University of Management, Moscow, Russia; bld. 99, Ryazanskii Avenue, Moscow, Russia, 109542; vy_afanasyev@guu.ru

Sergei V. Mishcheryakov, Dr. of Sci. (Economics), Corporate Energy University, Moscow, Russia; bld. 13, Krasnokazarmennaya Street, Moscow, Russia, 111250; msv@keu-ees.ru

Dmitrii S. Podolskii, Cand. of Sci. (Engineering), Corporate Energy University, Moscow, Russia; bld. 13, Krasnokazarmennaya Street, Moscow, Russia, 111250; nauka-ds@yandex.ru