

**ПОДДЕРЖАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СУПЕРСИСТЕМЫ
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ,
КОТОРЫЕ НЕ УЧИТЫВАЛИСЬ ПРИ ПОСТРОЕНИИ
ЕЕ СЕГМЕНТОВ¹**

**Кандидат эконом. наук *Е.П. Грабчак*
Департамент оперативного контроля и управления в электроэнергетике
Минэнерго России**

**Кандидат физ.-мат. наук *В.В. Григорьев*
МГИМО (У) МИД России**

**Доктор эконом. наук *Е.Л. Логинов*
Международного научно-исследовательского института проблем
управления (МНИИПУ)**

Рассмотрены проблемы обеспечения надежной работы сегмента тепло- и электро-энергетической суперсистемы в условиях неплановых технологических воздействий как угроз аварий и чрезвычайных ситуаций. Обоснована необходимость применения автоматических регуляторов при мониторинге и анализе соответствия режимов работы для поддержания состояния равновесия в каждой из подсистем на всех иерархических уровнях системы управления, которые построены на основе комплексирования виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения. Предлагается внедрение типовых моделей работы сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы, описываемых небольшим числом характеристик, настройкой которых можно обеспечить различие стандартного поведения сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы и нестандартного поведения в условиях технологических воздействий, которые не учитывались при ее построении.

Ключевые слова: управляющие энергетической системой, чрезвычайная ситуация, мониторинг, риски, угрозы.

**MAINTENANCE OF OPERATING MODES OF HEAT AND POWER
SUPERSYSTEMS IN THE CONDITIONS OF TECHNOLOGICAL INFLUENCES,
WHICH WERE NOT TAKEN INTO ACCOUNT WHEN CONSTRUCTING
ITS SEGMENTS**

**Ph.D. (Econ.) *E.P. Grabchak*
Department for Operational Control and Management in the Electric Power Industry of
the Ministry of Energy of Russia**

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект № 19-010-00956 А «Стратегия внедрения элементов цифровой экономики России для оптимизации взаимодействия агрегированных групп экономических агентов на основе развития логистики цифровых активов и интеллектуальной мобильности»)

Ph.D. (Phys.-Mat.) V.V. Grigoriev
MGIMO (University) of the Ministry of Foreign Affairs of Russia

Dr. (Econ.) E.L. Loginov
Institute for Advanced Systems (IRIAS)

The article considers the problems of ensuring reliable operation of the heat and power super-system segment under unplanned technological impacts as threats of accidents and emergencies. The necessity of using automatic regulators in monitoring and analyzing the correspondence of operating modes to maintain the state of equilibrium in each of the subsystems at all hierarchical levels of the control system, which are based on the integration of virtual clusters as elements of an energy system with an extended intellectual component with established modes of behavior, is substantiated. It is proposed to introduce standard models of operation of the segment of the heat and electric power super-system, described by a small number of characteristics, the settings of which can provide a distinction between the standard behavior of the segment of the heat and electric power super-system and non-standard behavior under technological influences that were not taken into account during construction.

Keywords: managers of the energy system, emergency, monitoring, risks, threats.

Введение

Основные трудности в обеспечении надежной работы сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы в условиях unplanned technological impacts как угрозах аварий и чрезвычайных ситуаций связаны с недостаточной эффективностью средств мониторинга и анализа режимов работы элементов энергосистемы [1-4].

Предлагается алгоритм мониторинга и анализа соответствия режимов работы для поддержания состояния равновесия в каждой из подсистем на всех иерархических уровнях системы управления в отношении распределенных сетей энергетических объектов [5]. Необходимо поддержание работы тепло- и электроэнергетической суперсистемы в условиях технологических воздействий, которые не учитывались при построении ее сегментов [6]. Также требуется обеспечить своевременное реагирование на появление новых сетевых угроз [7].

С помощью интеллектуальных технологий, таких как формирование виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой, можно добиться улучшения традиционных методов поддержания работы тепло- и электроэнергетической суперсистемы.

Направления совершенствования подсистем поддержания устойчивости работы элементов энергосистемы

Основными направлениями совершенствования подсистем поддержания устойчивости работы элементов энергосистемы с использованием интеллектуальных технологий являются следующие:

1. Проработка методологии построения математических оценок показателей работы элементов энергосистемы в виде аналитических зависимостей и моделей адаптивного управления с учетом комплексного характера взаимоотношений элементов энергосистемы в отношении автоматических регуляторов и средств противоаварийной автоматики.

2. Разработка интеллектуальных методов обнаружения опасных воздействий, которые ведут к десинхронизации, для адаптации к динамике неплановых технологических воздействий как угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы, ведущих к авариям и чрезвычайным ситуациям, на основе анализа высокоуровневых поведенческих характеристик сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы.

3. Разработка методов мониторинга работы идентифицированного функционального узла с расширенной интеллектуальной составляющей и информационного обмена для обеспечения целостности и защищенности распространения данных.

4. Создание автоматических регуляторов, построенных на основе комплексирования виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения и модулей их мониторинга, анализа и сравнения с библиотекой эталонных технологических команд для обеспечения сохранения результирующей устойчивости работы элементов энергосистемы.

Определение эффективности используемых средств мониторинга для поддержания состояния равновесия в каждой из подсистем на всех иерархических уровнях системы управления

Для перспективных технологий поддержания устойчивости работы элементов энергосистемы очень важно иметь механизмы получения оценок угроз, т.е. оценки вероятностей требуемого уровня сохранения результирующей устойчивости работы элементов энергосистемы и уровня снижения рисков [8]. Для этого используются модели угроз [9; 10]. В современных стандартах, определяющих требования к устойчивости работы элементов энергосистемы, вводится необходимость управления рисками посредством построения моделей их оценки и прогнозирования [11].

Пользователи конкретных средств мониторинга и анализа режимов работы энергосистем нуждаются в инструментах для получения оценок эффективности используемых средств мониторинга и анализа соответствия режимов работы в количественном виде.

Без количественных оценок проводить оптимизацию подсистем поддержания устойчивости работы элементов энергосистемы и осуществлять управление ими затруднительно [12;13].

Остро стоит вопрос о развитии методов получения количественных оценок для проведения достоверного анализа рисков воздействия угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы, ведущих к авариям и чрезвычайным ситуациям, а также оптимизации корректирующих команд с учетом допустимости приемлемых рисков.

Методы и модели мониторинга, анализа и прогнозирования поведения функциональных узлов элементов энергосистемы

Наиболее удобными для практического использования являются методы и модели адаптивного управления в виде функциональных зависимостей, связывающих между собой показатели работы групп элементов энергосистемы как ансамблей, и характеристики используемых подсистем поддержания режимов работы с учетом параметров, описывающих угрозы штатному режиму работы элементов энергосистемы.

Однако получить такие зависимости для многих практических случаев затруднительно и единственным путем получения количественных оценок эффективности подсистем поддержания устойчивости работы элементов энергосистемы является использование моделей адаптивного управления. Важными элементами математического аппарата построения оценок с помощью моделей адаптивного управления являются методы и модели мониторинга, анализа и прогнозирования, позволяющие получать достаточно точные оценки.

Для моделей адаптивного управления ключевым является вопрос достоверности построенных моделей. Оценить адекватность моделей адаптивного управления можно сравнением получаемых с их помощью количественных результатов с аналитическими оценками, которые удастся получить в ряде практических случаев.

Таким образом, необходимо разработать методологию построения математических оценок показателей режимов работы элементов энергосистемы в виде аналитических зависимостей и моделей адаптивного управления с учетом комплексного характера взаимоотношений систем в отношении автоматических регуляторов и средств противоаварийной автоматики.

Повышение эффективности мониторинга и анализа режимов работы для поддержания состояния равновесия в каждой из подсистем

В процессе разработки указанной методологии должны быть разработаны следующие технологии:

- технология разработки аналитических математических зависимостей для описания сложных процессов в отношении автоматических регуляторов и средств противоаварийной автоматики;
- технология построения моделей адаптивного управления в отношении автоматических регуляторов и средств противоаварийной автоматики для получения численных значений показателей режимов работы элементов энергосистемы;
- технология взаимного подтверждения точности мониторинга, анализа и результатов моделирования, обеспечивающих требуемый уровень достоверности.

Разработанные технологии позволят получать достоверные оценки эффективности мониторинга и анализа соответствия режимов работы для поддержания состояния равновесия в каждой из подсистем на всех иерархических уровнях системы управления и обеспечат возможность обоснованного выбора корректирующих команд для минимизации рисков.

Современные системы поддержания работы тепло- и электроэнергетической суперсистемы хотя и используют все более развитые алгоритмы предотвращения десинхронизации и реализации мер стабилизации системы, не способны обеспечить достаточных гарантий поддержания состояния равновесия в каждой из подсистем на всех иерархических уровнях системы управления в условиях перехода энергосистем и их объединений в возмущенное состояние.

Эта задача оказывается весьма непростой для классических методов управления сложными техническими системами. Ее решение может быть значительно улучшено за счет использования виртуальных кластеров. Использование виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения в этих целях оказывается весьма успешным.

Современные методы противодействия переходу энергосистем и их объединений в возмущенное состояние сегодня значительно усложнились. Обеспечить их эффективное выявление предпосылок перехода энергосистем и их объединений в возмущенное состояние и противодействие с помощью традиционных информационно-управляющих архитектур не всегда удается. Необходимо эффективно определять характерные признаки проявления угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы, ведущих к авариям и чрезвычайным ситуациям. Необходимы архитектуры, способные адекватно описывать поведенческие характеристики групп элементов энергосистемы на различных уровнях иерархии с учетом их нелинейной динамики.

Интеллектуальные инструменты адаптации к динамике неплановых технологических воздействий как угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы

Для создания интеллектуальных инструментов адаптации к динамике неплановых технологических воздействий как угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы, ведущих к авариям и чрезвычайным ситуациям, необходимо разработать следующие технологии:

- технологию описания типовых поведенческих моделей сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы с небольшим числом характеристик, настройкой которых можно обеспечить отличие стандартного поведения сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы и нестандартного поведения в условиях технологических воздействий, которые не учитывались при построении;

- технологию настройки шаблонных моделей поведения для описания стандартного поведения конкретных автоматических регуляторов и средств противоаварийной автоматики с учетом особенностей прохождения в них потоков данных и динамики их изменения;

- технологию выявления вариантов поведения, свидетельствующих о наличии фактов опасных воздействий и десинхронизаций, ведущих к изменению характеристик поведения сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы.

Для создания методов высокоуровневого анализа поведенческих характеристик сегмента энергетической суперсистемы необходимо разработать архитектуры, основанные на иерархическом графовом представлении вариантов динамики изменения потоков данных. Имеется богатый опыт использования различных архитектур, в том числе и нетрадиционных для решения различных задач анализа данных. Внедрение автоматических регуляторов предполагается проводить в виде программных и аппаратно-программных средств, обеспечивающих анализ потоков данных и выдающих сигналы службам поддержания устойчивости работы элементов энергосистемы для принятия мер по нейтрализации возникших угроз. Разработанные технологии позволят применять интеллектуальные методы обнаружения опасных воздействий, ведущих к десинхронизации, для адаптации к динамике неплановых технологических воздействий как угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы, ведущих к авариям и чрезвычайным ситуациям.

Основной целью в отношении автоматических регуляторов и средств противоаварийной автоматики является обеспечение надежного и бесперебойного управления энергообеспечением, которое обычно представлено в виде сбора и обработки управленческих данных, для каждого из которых известны источник их получения.

Оптимизация информационных потоков системы

В то же время данные, входящие в информационные потоки системы, имеют некоторую функциональную направленность для поддержания режимов работы элементов энергосистемы, например, в отношении крупных энергогенераторов, таких, как АЭС или ТЭС. Пригодность командного сигнала для выполнения задачи определяется его функциональным содержанием, которое в случае наличия ошибок, искажений, зашумленности может затруднить или воспрепятствовать выдачу управляющих команд. При этом целостность выходных данных, получаемых после обработки и формирования командного сигнала, будет нарушаться.

Ограниченное число категорий работы функционального узла с расширенной интеллектуальной составляющей и многоуровневые механизмы поддержания работы тепло- и электроэнергетической суперсистемы в условиях перехода энергосистем и их объедине-

ний в возмущенное состояние для участников процесса значительно затрудняют возможности обеспечения устойчивого получения технологических команд.

Одним из эффективных алгоритмов является применение виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения.

Создание автоматических регуляторов для поддержания состояния равновесия в каждой из подсистем на всех иерархических уровнях системы управления

Необходимо создание автоматических регуляторов, построенных на основе комплексирования виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой и модулей их мониторинга, анализа и сравнения с библиотекой эталонных технологических команд для обеспечения сохранения результирующей устойчивости работы элементов энергосистемы.

В ходе проведения исследований по созданию автоматических регуляторов, обеспечивающих стойкость против известных видов перехода энергосистем и их объединений в возмущенное состояние различного характера, должны быть разработаны следующие технологии:

- технология формирования виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения, содержащей модули мониторинга, анализа и сравнения технологических команд с библиотекой эталонных технологических команд;

- технология синхронизации виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения для передающей и принимающей стороны, обеспечивающую стойкость против известных видов перехода энергосистем и их объединений в возмущенное состояние различного характера;

- технология обеспечения передачи технологических команд с использованием разработанных автоматических регуляторов.

Результаты проведенных исследований позволят создать новый класс эффективных виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения и обеспечивающих эффективный защищенный обмен технологическими сигналами.

Выводы: необходимые меры

- 1) Создание методологии построения математических оценок показателей поддержания устойчивости работы элементов энергосистемы в виде аналитических зависимостей и моделей адаптивного управления с учетом комплексного характера взаимоотношений в условиях технологических воздействий, которые не учитывались при построении ее сегментов.

- 2) Разработка интеллектуальных методов обнаружения опасных воздействий, ведущих к десинхронизации, для адаптации к динамике неплановых технологических воздействий как угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы, ведущих к авариям и чрезвычайным ситуациям, на основе анализа высокоуровневых поведенческих характеристик сегмента тепло- и электроэнергетической суперсистемы.

3) Разработка методов идентификации функционального узла с расширенной интеллектуальной составляющей для обеспечения достоверности наблюдения за работой системы.

4) Создание автоматических регуляторов, построенных на мониторинга, анализа и сравнения с библиотекой эталонных технологических команд для обеспечения сохранения результирующей устойчивости работы элементов энергосистемы.

5) Создание многофункциональной системы, базирующейся на использовании виртуальных кластеров как элементов энергосистемы с расширенной интеллектуальной компонентой с устоявшимися режимами поведения.

6) Налаживание электронного обмена технологическими сигналами и данными в корпоративных сетях энергетических компаний.

7) Создание интеллектуальных методов обнаружения опасных воздействий, ведущих к десинхронизации, для адаптации к динамике неплановых технологических воздействий как угроз штатным режимам работы элементов энергосистемы, ведущих к авариям и чрезвычайным ситуациям.

8) Разработка и реализация интеллектуальной системы поддержки принятия решений при мониторинге и анализе соответствия режимов работы для поддержания работы тепло- и электроэнергетической суперсистемы в условиях технологических воздействий, которые не учитывались при построении ее сегментов.

Литература

1. Грабчак Е.П. Цифровые подходы к управлению объектами электро- и теплоэнергетики с применением интеллектуальных киберфизических систем / Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов // Надежность и безопасность энергетики. – 2019. – Т. 12. – №3. – С. 172-176.

2. Логинов Е.Л. Управление экономикой России в условиях с предельно большой компонентой неопределенности развития чрезвычайных ситуации и критического недостатка информации / Е.Л. Логинов, Е.П. Грабчак, В.В. Григорьев, А.Н. Райков, А.А. Шкута // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2019. – №4. – С. 104-110.

3. Чиналиев В.У. Управление сложными человеко-машинными системами с расширенной интеллектуальной компонентой при работе ТЭС в условиях нелинейной динамики воздействия неучтенных факторов, приводящих к аварийным возмущениям / В.У. Чиналиев, С.М. Зарбалиев // Искусственные общества. – 2019. – Т. 14. – №4. – С. 13-18.

4. Логинов Е.Л. Информационная платформа, объединяющая телематические, вычислительные и информационные сервисы в ЕЭС России // Научно-техническая информация. – Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2013. – №6. – С. 19-23.

5. Гуменюк В.И. Моделирование защищенности объекта энергетики от чрезвычайных ситуаций: структура модели и математический аппарат / В.И. Гуменюк, И.А. Толочко, А.Ю. Туманов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2017. – Т. 23. – №3. – С. 101-108.

6. Гаськова Д.А. Технология анализа киберугроз и оценка рисков нарушения кибербезопасности критической инфраструктуры / Д.А. Гаськова, А.Г. Массель // Вопросы кибербезопасности. – 2019. – №2(30). – С. 42-49.

7. Хисамов Ф.Г. Основы построения автоматизированных систем критической инфраструктуры в защищенном исполнении // Информатика и безопасность современного общества. – 2019. – №4(10). – С. 9-14.

8. Поваров В.П. Программная реализация интеллектуальной системы принятия решений при управлении объектами ядерной энергетики // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – №1(24). – С. 293-308.

9. Михалевич И.Ф. Методологические основы создания национальных защищенных аппаратно-программных платформ для критических информационных инфраструктур // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12. – №3. – С. 75-81.

10. Логинов Е.Л. Интеллектуальные технологии обеспечения информационной безопасности объектов критической энергетической инфраструктуры России // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014. – №1. – С. 112-119.

11. Барикаев Е.Н. Методы защиты от попыток перехвата управления в системах критической инфраструктуры России на основе системотехнических факторов // Вестник Московского университета МВД России. – 2013. – №5. – С. 246-249.

12. Жук Р. Цифровая трансформация энергетики // Региональная энергетика и энергосбережение. – 2017. – №2. – С. 18-20.

13. Аюев Б.И. Разработка программно-технического комплекса противоаварийной автоматики Калининградской энергосистемы / Б.И. Аюев, Е.П. Грабчак, А.А. Лисицын, Е.И. Сацук, С.В. Чаплюк, А.В. Черезов, Ю.В. Шаров // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2019. – №2(81). – С. 14-22.

Сведения об авторах

Грабчак Евгений Петрович, директор Департамента оперативного контроля и управления в электроэнергетике Минэнерго России, 107996, ГСП-6, г. Москва, ул. Щепкина, дом 42, 8 (495) 631-90-43, E-mail: Grabchak.eugene@gmail.com

Григорьев Владимир Викторович, доцент кафедры математики, эконометрики и информационных технологий факультета международных экономических отношений, МГИМО (У) МИД России, 119454, Москва, пр. Вернадского, 76, 8 (985) 997-07-44, E-mail: grigorievvv@mail.ru

Логинов Евгений Леонидович, профессор РАН, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, начальник службы Ситуационно-аналитического центра Минэнерго России, 107996, ГСП-6, г. Москва, ул. Щепкина, дом 42, 8 (903) 100-78-24, E-mail: evgenloginov@gmail.com