

Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов
(г. Москва, Минэнерго России)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ С ПОВЫШЕННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ
К ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ В УСЛОВИЯХ
КРИТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

MODELING OF MULTI-PARAMETRIC BEHAVIOR OF POWER PLANTS
WITH INCREASED REQUIREMENTS FOR FAILURE RESISTANCE
UNDER CRITICAL IMPACT CONDITIONS

Рассматриваются проблемы обеспечения прогнозирования многопараметрического поведения объектов электро- и теплоэнергетики при проектировании с целью учета возможных вариантов выхода работы объектов за пределы штатных режимов, что требует соответствующего моделирования.

Problems of predicting the multiparameter behavior of electrical and heat power engineering objects during design are considered in order to take into account possible options for the operation of objects outside the normal modes, which requires appropriate modeling.

Ключевые слова: энергетика, объекты, проектирование, моделирование, отказоустойчивость.

Keywords: energy, objects, design, modeling, fault tolerance.

Внедрение «цифровых двойников» позволяет сформировать базу для моделирования идентифицируемых состояний технологических объектов с повышенными требованиями к отказоустойчивости (АЭС, ТЭС и пр.).

Для раннего предупреждения чрезвычайных ситуаций необходимо обеспечение прогнозирования многопараметрического поведения объектов электро- и теплоэнергетики, в первую очередь, динамики технического состояния (штатные, критические и аварийные режимы), что требует соответствующего моделирования [1].

Расширение количества технологических элементов кибер-физических систем с большим количеством интеллектуальных устройств с расширенной компонентой автономного поведения в рамках систем электро- и теплоснабжения создает новые возможности для применения моделирования при проектировании технологических объектов с повышенными требованиями к отказоустойчивости [2-4]. Управление в сложных ситуациях с существенной компонентой неопределенности требует повышения предсказуемости работы технологических объектов, что, в свою очередь, опирается на моделирование многопараметрического поведения объектов электро- и теплоэнергетики как элементов суперсистемы [5].

Функционирование объектов электро- и теплоэнергетики (распределенного комплекса систем с дву- и многосторонними связями в цифровом управленческом пространстве сегментов отрасли), содержит специфический для него набор атрибутов. Описания идентифицируемых состояний технологических объектов базируются на мониторинге динамики технического состояния и зависят от форм воздействий через выделенные кластеры факторов, влияющих на отказоустойчивость сегментов суперсистемы, которые необходимо учесть при моделировании работы объектов электро- и теплоэнергетики. Эти описания могут группироваться в информационные блоки, которые представляют интерес для анализа и моделирования с целью учета возможных вариантов выхода работы объектов за пределы штатных режимов при проектировании объектов электро- и теплоэнергетики.

Инструментальная поддержка набора данных для моделирования работы объектов электро- и теплоэнергетики в условиях проявления типичных и атипичных природных и технических факторов, учитываемых в процессах проектирования технологических объектов с повышенными требованиями к отказоустойчивости, может быть эффективно реализована с использованием вычислительных сервисов - аналитических математических зависимостей для описания сложных процессов протекающих внутри систем энерго- и теплоснабжения в контексте старения, износа, выбытия, ремонта и замены функциональных узлов [6-8]. «Цифровые двойники» физических объектов или процессов позволяют повысить эффективность моделирования работы сложных кибер-физических систем с большим количеством интеллектуальных устройств с расширенной компонентой автономного поведения с возможностью неограниченного наращивания числа анализируемых функциональных узлов и получаемых данных от интеллектуальных датчиков.

Создается возможность прогнозирования функционального поведения систем электро- и теплоснабжения в сложных условиях с наращиванием объемов анализируемых данных и выявлением ранее недоступных характеристик как технологических операций и процессов, так и действий производственного и управленческого персонала [9].

Расширение количества анализируемых параметров агрегированных групп функциональных узлов оборудования при моделировании позволяет повысить надежность и безопасность функционирования объектов электро- и теплоэнергетики на основе сервисов цифровой топологии [10].

Интеграция информационных систем различных групп распределенных кибер-физических систем с повышенными требованиями к отказоустойчивости (АЭС, ТЭС и пр.) в интересах раннего предупреждения чрезвычайных ситуаций обеспечивает стандартизацию описаний для моделирования идентифицируемых состояний технологических объектов и сравнения показателей для выявления недостоверных данных по косвенным

признакам и построения достоверных прогнозных оценок различных категорий данных [11-14].

С учетом значительной вероятности критических воздействий на суперсистему, приводящих к каскадным отключениям, при проектировании объектов электро- и теплоэнергетики предлагается опираться на управляемую фрагментацию (полицентрическое временное дезагрегирование групп оборудования с последующей агрегацией) систем управления магистральных или распределительных сетей, выполняющих функциональные задачи в условиях поступления больших и сверхбольших объемов технологических данных [от датчиков с интеллектуальными сервисами для расчета режимов, токов короткого замыкания, координаты установок релейной защиты и других] передаваемых по сетям данных. Такая фрагментация должна реализовываться в рамках сетевых агрегированных программно-аппаратных кластеров с учетом структуры передачи данных, их режимной обработки и формирования управляющих сигналов с использованием интеллектуального адаптора (конвергентного интерфейса) способного обрабатывать сверхбольшие объемы данных (на основе технологии Big Data), полученных из различных источников, детерминированных особенностями отдельных объектов магистральных или распределительных сетей, выполняющих функциональные задачи в системах управления объектов электро- и теплоэнергетики.

Для создания консолидирующей «свертки» объектов электро- и теплоэнергетики в кластерообразующие структуры различного уровня (в т.ч. устойчиво наблюдаемые группы объектов магистральных или распределительных сетей в рамках «цифрового двойника» систем передачи электроэнергии) необходимо разбиение сетевых объектов - систем управления магистральных или распределительных сетей, выполняющих функциональные задачи таким образом, чтобы каждый сетевых объектов агрегированный «цифровой двойник» - на основе математической модели электрической сети - использовал цифровые сервисы обработки и верификации цифровых командных сигналов на основе интеллектуального адаптора получаемых данных

Список литературы

1. *Воропай, Н. И.* Направления и проблемы трансформации электроэнергетических систем / Н.И. Воропай // *Электричество*. – 2020. – № 7. – С. 12-21.
2. *Грабчак, Е.П.* Поддержание режимов работы тепло- и электроэнергетической суперсистемы в условиях технологических воздействий, которые не учитывались при построении ее сегментов / Е.П. Грабчак, В.В. Григорьев, Е.Л. Логинов // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. – 2020. – № 3. – С. 5-12.
3. *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.

4. *Грабчак, Е.П.* Цифровая трансформация электроэнергетики/ Е.П. Грабчак. – М.: Кнорус, 2018. – 340 с.

5. *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. Чаплук, А.В. Черезов, Ю.В. Шаров // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2019. - № 2. - С 14-22.

6. *Тюгашев, А.А.* Технология и инструментальный программный комплекс проектирования и верификации алгоритмов управления реального времени / А.А. Тюгашев, Д.В. Железнов, С.А. Никищенко // Электротехника. –2017. – № 3. –С. 59-64.

7. *Грабчак, Е.П.* Определение возможности энергетического объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах в условиях нелинейности и дискретности потоков поступающих технологических данных / Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов // Интеллектуальные информационные системы: Теория и практика: сб. науч. тр. I Всероссийской научно-технической конференции «Интеллектуальные информационные системы: теория и практика».– Курск: Курский государственный университет, 2020. – Ч. 1. – С.23-26.

8. *Грабчак, Е.П.* Цифровые подходы к управлению оборудованием тепловых электростанций с расширенной компонентой интеллектуального управления параметрами регулирующих устройств/ Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов // Современные технологии, экономика и образование: сб. матер. Всероссийской научно-методической конференции. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. – С.36-38.

9. *Voropaï, N.* Generalized technology of hierarchical modeling of complex energy systems // Energy Systems Research. – 2019. – Т. 2. – № 4 (8). – С. 22-25.

10. *Рахматуллин, Р.Р.* Ранжирование оборудования электросетевого комплекса по степени необходимости (критичности) технического воздействия на единицу оборудования/ Р.Р. Рахматуллин // Новое в российской электроэнергетике. – 2019. – № 10. – С. 29-38.

11. *Корниенко, А.А.* Моделирование компьютерных атак на распределенную информационную систему / А.А. Корниенко, Р.Р. Рахматуллин, И.И. Валиев, И.Н. Хамидуллин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 613-628.

12. *Михайлов, А.С.* Пространственно-сетевые взаимодействия: моделирование системы локальных связей/ А.С. Михайлов // Балтийский экономический журнал. – 2017. – № 4 (20). – С. 60-71.

13. *Петров, М.Ю.* Модель синтеза распределенных атакующих элементов в компьютерной сети / М.Ю. Петров, Р.Р. Фаткиева // Труды учебных заведений связи. 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 113-120.

14. *Игнатенко, В.А.* Агентоцентрическое моделирование организационно-технологических систем / В.А. Игнатенко, А.Г. Бажанов, Д.А. Юдин, А.В. Чуев, С.А. Юдицкий // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 2. – С. 249-294.

Материал поступил в редколлегию 31.08.20.