

УДК 621.311.1

Чулюкова Маргарита Валерьевна
Амурский государственный университет
г. Благовещенск, Россия
E-mail: margarita_kaigor@inbox.ru
Chulyukova Margarita Valeryevna
Amur State University
Blagoveshchensk, Russia
E-mail: margarita_kaigor@inbox.ru

АКТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

ACTUAL APPROACHES TO ENSURING RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO CONSUMERS

Аннотация. Рассмотрена актуальность изменения подходов к обеспечению надежности электроснабжения (ЭС) конечного потребителя при переходе энергетики России к новым моделям рынка электроэнергии и ориентированности электросетевых компаний на рост качества услуг. Отмечено, что одним из ключевых методов достижения этой цели является повышение гибкости электроэнергетических систем (ЭЭС) за счет использования различных источников гибкости, основанных на инновационных интеллектуальных технологиях. Рассмотрен новый метод гибкого управления нагрузкой потребителей в послеаварийном установившемся режиме.

Abstract. The article considers the relevance of changing approaches to ensuring the reliability of power supply (PS) to the end consumer during the transition of the Russian energy industry to new models of the electricity market and the orientation of electric grid companies to increase the quality of services. It is noted that one of the key methods to achieve this goal is to increase the flexibility of electric power systems (EPS) through the use of various sources of flexibility based on innovative intellectual technologies. A new method of flexible control of the load of consumers in the post-emergency steady-state mode is considered.

Ключевые слова: надёжность, гибкость, активный потребитель, распределенные энергоисточники, электроснабжение, управление нагрузкой.

Key words: reliability, flexibility, active consumer, distributed energy sources, power supply, load management.

Современные перспективные направления развития ЭЭС, наряду с их эффективностью, повышают требования потребителей к надежности электроснабжения. Ключевым фактором работы с потребителями становится клиентоориентированность электросетевых компаний (ЭСК). Активное развитие высокоинтеллектуальных цифровых технологий привело к появлению электроприемников, очень чувствительных к любым колебаниям напряжения. Нарушение электроснабжения, длящееся всего несколько миллисекунд, может повлиять на

десятки тысяч или миллионы основных операций. Результатом могут стать сбои в работе и потеря данных с опасными (например, аэропорты, больницы) или дорогостоящими (например, потеря производства) последствиями. Повреждение оборудования может угрожать бесперебойной работе компании и привести к значительным финансовым затратам. Выход из строя электроустановки – серьезная опасность, как для распределительных сетевых компаний, так и для потребителей [1, 2].

Ответственность определения приоритетов для отключения потребителей в соответствии с категориями их надежности ЭС в аварийных ситуациях возложена на субъекты электроэнергетики для выполнения задания «Системного оператора Единой энергетической системы» (СО ЕЭС) и обеспечения системной надежности работы ЭЭС. Однако такая задача часто является очень трудоемкой и на практике невыполнимой, поскольку некоторым предприятиям сложно найти необходимый объем нагрузки, который можно было бы отключить, не говоря уже о последовательности отключения в соответствии с категориями ЭС-потребителей. При этом также не учитывается несоответствие данных категорий реальным угрозам его ЭС.

В связи с вышесказанным в рыночных условиях принципиально важно изменить подходы к обеспечению надежности – критерии, механизмы обеспечения надежности, характер ответственности за нее, распределение ответственности между субъектами. Логика рыночных отношений требует переосмысления нормативов надежности ЭС. Они должны быть экономически обоснованными и являться неотъемлемой частью в первую очередь деятельности отдельных субъектов и только во вторую – межсубъектных отношений. В этих условиях задачи обеспечения системной надежности и надежности ЭС нужно привести в соответствие с новыми моделями оптового и розничных рынков [3].

Используемые в нашей стране нормативы надежности ЭС сформулированы в правилах устройства электроустановок (ПУЭ). Существенными дефектами данных нормативов, полученных для совершенно другой экономики страны, является то, что они построены на опыте прошлого, и при проектировании новых систем электроснабжения (СЭС) появляется риск выработать совершенно неверные решения. Применение нормативов значительно упрощает выработку решений по обеспечению рациональной надежности, не требует много информации и высокой квалификации в области надежности того лица, которое принимает решения. К сожалению, нормативы допускают много неточностей, – например, в критериях отнесения электроприемников к различным категориям. Нечеткость требований к надежности приводит к неграмотно спроектированным СЭС. Поскольку СЭС многофункциональна (в том числе много узлов, от которых осуществляется электроснабжение различных потребителей), критерий рациональной надежности можно сформировать как совокупность экономических компромиссов (для тех узлов питания, где можно это сделать) и нормативных требований (для узлов, где экономические расчеты затруднены) [4].

В [5] предлагается придерживаться двух основных аспектов решения проблемы обеспечения надежности ЭС – технологического и организационно-мотивационного. Организационно-мотивационный аспект заключается в создании условий для регулярной, эффективной и взаимовыгодной деятельности субъектов электроэнергетики по управлению уровнем надеж-

ности, а также мотивации субъектов к управлению уровнем надежности. Он позволяет ответить на вопросы: как организовать выявление оптимальных уровней надежности и регулярное внедрение эффективных мероприятий по управлению надежностью. Технологический аспект заключается в разработке технологий, методик повышения надежности по выбранным критериям. Он позволяет ответить на вопросы: за счет каких технических средств, каким образом и насколько можно повысить надежность.

При этом если реализация организационно-мотивационного аспекта зависит от решений на государственном уровне и требует значительного количества времени, то реализация технологического аспекта уже сейчас доступна сетевым предприятиям. В настоящее время в условиях развития информационных технологий и инновационной экономики перспективной базой повышения надежности в электроэнергетике стала инновационная основа и интеллектуализация технологического оборудования, объектов, систем электроэнергетики и управления ими [6, 7]. Новые интеллектуальные технологии в энергетике способствовали появлению нового свойства ЭЭС – гибкости, которая может быть охарактеризована как способность системы быстро и эффективно реагировать на изменения режима ее работы и поддерживать баланс между производством и потреблением электроэнергии в режиме реального времени. В данном аспекте повышение гибкости ЭЭС актуально для решения указанных проблем.

В качестве новых источников гибкости в энергосистемах в настоящее время рассматриваются системы накопления электроэнергии (СНЭ) и механизм управления спросом. Управление спросом как источник гибкости реализует следующий принцип: снижение мощности и потребления электроэнергии равносильно увеличению мощности генерации и росту выработки электроэнергии, а следовательно, получению дополнительной мощности [8].

Данный принцип был положен в основу новой автоматики противоаварийного управления нагрузкой активных потребителей (АПУНАП), подробно рассмотренной в [9-11]. Он заключается в автоматическом снижении потребления мощности активных потребителей 2-й и 3-й категорий надежности (второстепенной нагрузки) до минимальных значений и тем самым высвобождении дополнительной мощности для восстановления ЭС потребителей 1-й категории надежности (ответственной нагрузки) и социально значимых объектов (СЗО), отключенных ранее действием традиционной ПА. Предлагаемая автоматика разработана для интеллектуальных СЭС с активными элементами, включающими в себя собственные распределенные энергоисточники, СНЭ, регулируемую нагрузку потребителей, которая электрически взаимосвязана.

Разработанный алгоритм работы АПУНАП представлен на рис. 1 в виде упрощенной блок-схемы, на которой стрелками показаны информационные связи координирующего комплекса автоматики. АПУНАП является дополнительной автоматикой ПАУ в послеаварийном установившемся режиме работы СЭС.

Принципиально возможны два режима работы СЭС: параллельная с энергосистемой и изолированная (автономная). В большинстве случаев выделение интеллектуальной СЭС на изолированную работу в аварийных ситуациях сопровождается дефицитом генерирующей мощности, которая ликвидируется действиями традиционной ПА за счет отключения нагруз-

ки. Для реализации управляющих воздействий (УВ) традиционной ПА могут быть использованы электроустановки потребителей всех категорий надежности ЭС [12]. Действия традиционной ПА направлены на отключение нагрузки высшего класса напряжения (6/10/35/110 кВ) и не учитывают сохранение питания ответственных потребителей от более низкого класса напряжения (0,4 кВ). Следовательно, в аварийных ситуациях при разных схемно-режимных условиях могут быть отключены потребители 1-й категории, наряду с тем, что часть потребителей 2-й и 3-й категорий остаются включенными.

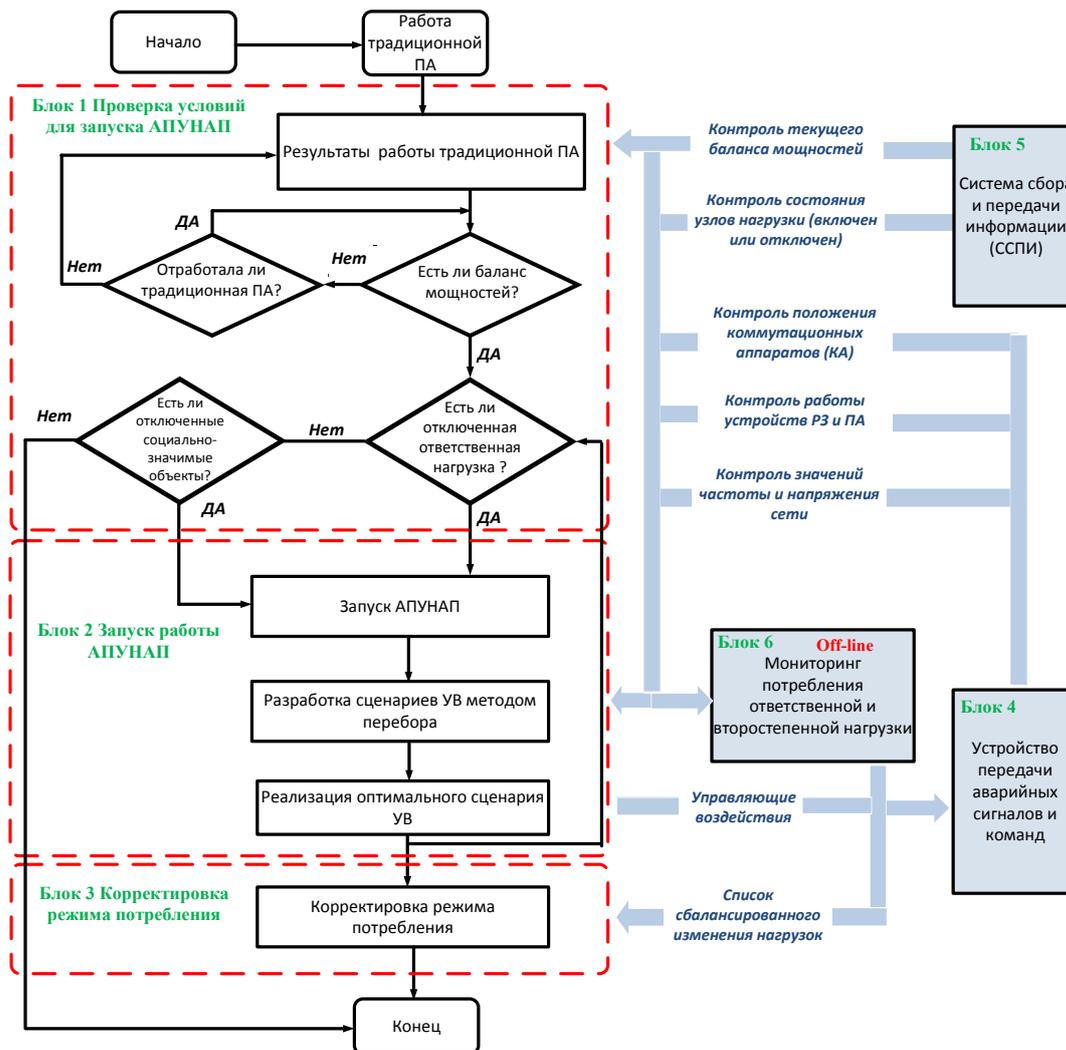


Рис. 1. Упрощенная блок-схема алгоритма и информационных связей координирующего комплекса АПУНАП.

В последнее время задача обеспечения надежного ЭС социально-значимых объектов (СЗО) усугубилась вследствие изменения климата и повышенных требований к системам тепло-, водоснабжения, которые проектировались в прошлом веке. Зачастую в аварийных ситуациях отключения нагрузки в условиях аномально низких температур в большинстве регионов России под ограничения в электроснабжении попадают котельные, бойлерные, насосные, водозаборы и т.д. При этом надо отметить, что, согласно ПУЭ, эти объекты отно-

сятся ко 2-й категории надежности ЭС, но, согласно [13], котельные по отпуску тепла имеют 1-й категорию надежности, являются единственным источником тепловой энергии системы теплоснабжения, обеспечивающей потребителей первой категории, не имеющей резервных источников тепловой энергии. В связи с этим в условиях дефицита генерирующей мощности для оперативного восстановления электроснабжения СЗО, в первую очередь — котельных, СО ЕЭС вынуждены получать дополнительную мощность за счет ввода графиков аварийного ограничения (ГАО) и отключать потребителей, чтобы восстановить ЭС объектов СЗО.

Авария, которая произошла 23 января 2023 г. в Приморском крае, с длительным простоем потребителей с ответственной нагрузкой является подтверждением вышесказанного и свидетельствует об актуальности перехода существующих СЭС к новым интеллектуальным «активным» моделям.

Согласно [14, 15], 23 января 2023 г., около 7 часов утра, на Артемовской ТЭЦ произошло аварийное отключение блока генератора № 7 с нагрузкой 95 МВт. Для ликвидации токовой перегрузки в сети 110 кВ на ПС-220 кВ Уссурийск-2 была сформирована команда по запуску автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО) для разгрузки ВЛ-110 Уссурийск-2 – Междуречье.

В 7 часов 19 минут были реализованы управляющие воздействия (УВ) на отключение четырех ВЛ-35 кВ и пяти фидеров 6 кВ. В результате действий ПА было отключено суммарно 37,4 МВт, 34960 человек Уссурийского городского округа. В условиях аномально низких температур в данном регионе (-25°C) без напряжения остались 16 объектов теплоснабжения (угольные котельные, бойлерные, насосные), единственные источники тепловой энергии системы теплоснабжения, обеспечивающей потребителей первой категории и не имеющей резервных источников тепловой энергии.

В связи с этим в условиях дефицита генерирующей мощности для оперативного восстановления ЭС СЗО, в первую очередь — котельных, в 9 часов 2 минуты по команде Приморского РДУ были введены графики ГАО и отключены дополнительно потребители на 5 МВт. Полученная свободная мощность была перераспределена между СЗО в ручном режиме, путем выполнения переключений оперативно-выездных бригад, и к 12 часам 17 мин. (через 4 часа 58 мин.) СЗО были запитаны. В 13 часов 8 мин. восстановлено электроснабжение всех потребителей.

Новая автоматика АПУНАП позволяет выполнить перераспределение свободной мощности в автоматическом режиме, с учетом заданных критериев оптимальности, и тем самым сократить время простоя потребителя и повысить надежность его ЭС. Эффективность ее работы была продемонстрирована в [9,10].

Разработки и внедрение новых технических средств на основе интеллектуальных технологий для повышения одной из важных составляющих надежности ЭЭС – гибкости позволяют СЭС успешно адаптироваться к нынешним неопределенным условиям их развития, в том числе устранить несоответствие существующих критериев определения категорий ЭС потребителей к реальным последствиям нарушения поставки им электроэнергии. При этом одним из самых эффективных и востребованных средств управления как нормальными, так и аварийными режимами работы СЭС является механизм управления спросом.

1. Осак, А.Б. Кибербезопасность объектов электроэнергетики как фактор надежности ЭЭС / А.Б. Осак, А.Б. Панасецкий, Е.Я. Бузина // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Актуальные проблемы надежности систем энергетики. Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко, 2015. – С. 258-264.
2. Папков, Б.В. Киберугрозы и кибератаки в электроэнергетике / Б.В. Папков, А.Л. Куликов, В.Л. Осокин. – Нижний Новгород: НИУ РАНХиГС, 2019. – 51 с.
3. Кучеров, Ю.Н., Китушин, В.Г. Реформирование и надежность электроснабжения // Энергорынок. – 2005. – №1. – С. 40-47.
4. Воропай, Н.И. Надежность систем электроснабжения: учебное пособие для вузов по направлению «Электроэнергетика и электротехника» Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ СО РАН). – Новосибирск: Наука, 2015. – 208 с.
5. Шарьгин, М.В. Общий подход к решению проблемы обеспечения надежности электроснабжения потребителей // Электричество. – 2015. – №2. – С. 12-17.
6. Надежность систем энергетики: сб. рекомендуемых терминов / отв. ред. Н.И. Воропай. – М.: Энергия, 2007. – 192 с.
7. Jamborsalamati, P., Garmabdari, R., Hossain, J., Lu, J., Dehghanian, P. Planning for resilience in power distribution networks: A multi-objective decision support // IET Smart Grid. – 2021. – Vol.4, No.1. – P. 45-60.
8. Зубакин, В., Опадчий, Ф., Кулешов, М., Архипов, А., Шевченко, С. Влияние проектов по управлению спросом на изменение цены электроэнергии на примере ВИНК // Энергорынок. – 2019. – №7.
9. Воропай, Н.И. Чулюкова, М.В. Противоаварийное управление нагрузкой для обеспечения гибкости электроэнергетических систем // Вестник ИрГТУ. – 2020. – Вып.4. – С.781-794.
10. Курбацкий, В.Г. Особенности координации систем автоматики в процессе аварийного выделения на изолированную работу систем электроснабжения с распределенной генерацией / В.Г. Курбацкий, М.В. Чулюкова // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – №2(77). – С. 86-93.
11. Казакул, А.А. Современные аспекты противоаварийного управления нагрузкой в условиях трансформации электроэнергетических систем / А.А. Казакул, М.В. Чулюкова // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Сб. трудов X Всероссийской научно-техн. конф. с международным участием. Благовещенск, 24-25 ноября 2022 г. – Благовещенск: АмГУ, 2022. – С. 191-194.
12. Приказ Минэнерго России от 6 июня 2013 г. № 290 «Об утверждении правил разработки и применения графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности) и использования противоаварийной автоматики», зарегистрирован в Минюсте России 9 августа 2013 г., №29348 – 52 с.
13. Строительные нормы и правила: СНиП II-35-76 «Котельные установки»: нормативно-технический материал. – М.: [б.и.], 2016. – 93 с.
14. Сайт МедиаХолдинга PrimaMedia <https://primamedia.ru/news/1453940/?from=19> (дата обращения – 9.10.23).
15. Сайт ИАА «ВостокМедиа» <https://vostokmedia.com/news/2023-01-23/tret-ussuriyska-ostalas-bez-elektrichestva-v-anomalnye-holoda-v-primorie-prichiny-2643403> (дата обращения – 9.10.23).