

Е.А. Старцев, Б.В. Кавалеров
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫМИ ГЕНЕРИРУЮЩИМИ МОДУЛЯМИ

Статья посвящена решению актуальной задачи, связанной с распределением электрической энергии и повышением энергоэффективности в сетях электроснабжения. Для решения этой задачи предлагается интеллектуализация управления газотурбинными электростанциями малой и средней мощности. По этой теме сейчас проводятся научные исследования на кафедре электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета с участием студентов. В статье рассматривается новая концепция «виртуальной электростанции» и возможность ее использования при управлении газотурбинными электростанциями. Показаны преимущества данной концепции. Ее использование позволит выделить ограниченную область внешней по отношению к электростанции электрической системы. В перспективе предполагается построение динамической модели этой области с использованием искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: виртуальная электростанция; искусственный интеллект; надежность; качество электроэнергии; распределение и управление электроэнергией, газотурбинная электростанция; искусственная нейронная сеть.

E.A. Startsev, B.V. Kavalero
Perm national research Polytechnic University, Perm

VIRTUAL POWER PLANTS FOR GAS TURBINE GENERATING MODULES INTELLIGENT CONTROL

This article is dedicated to solving an urgent problem related to electric energy distribution and increasing energy efficiency in power supply networks. It is proposed to intellectualize the control of small and medium capacity gas turbine power plants to solve this problem. Scientific research on this topic is currently being carried out at the Electrical Engineering and Electromechanics Department of the Perm National Research Polytechnic University with the participation of students. The article discusses the new concept of "virtual power plant" and the possibility of its use in the gas turbine power plants management, advantages of this concept are shown. Virtual power plant using will allow assigning a limited area of the electrical system external to the power plant. In the future, it is planned to build a dynamic model of this area using artificial neural networks.

Keywords: virtual power plant; artificial intelligence; reliability; electricity quality; electricity distribution and management; gas turbine power plant, artificial neural network.

Введение. Газотурбинные установки малой и средней мощности в настоящее время массово производятся предприятиями г.Перми на базе авиационных двигателей, при этом мощностной ряд одного энергоблока может составлять от 2,5 МВт до 25 МВт и более. Во всем мире теперь

быстрыми темпами создаются сети малых электростанций, при этом глубоко и всесторонне исследуются вопросы надежности, экологичности, безопасности электроснабжения и рационального распределения природных ресурсов. Во многих европейских странах на долю таких сетей уже в настоящее время приходится основной объем производимой и распределяемой электроэнергии.

Известно, что малая энергетика – это практически неуничтожимая энергетика, энергетика будущего. Ближайшая аналогия здесь – это сеть Интернет, поэтому формирование систем на основе таких малых и средних газотурбинных электростанций (ГТЭС) отвечает интересам построения в России ресурсосберегающей и безопасной экономики. Такие электростанции должны адекватно реагировать на изменения режима работы электроэнергетической системы (ЭЭС), самоприспосабливаться к изменяющейся внешней обстановке, взаимодействуя при этом с такими же автономными энергетическими модулями. Взаимодействие происходит через общую среду – ЭЭС, и при этом нужно обеспечивать в заданных узлах ЭЭС и у потребителей требуемые показатели качества вырабатываемой электроэнергии, обеспечивать поддержание и повышение надежности передачи и распределения электроэнергии, обеспечивать достижение рационального использования природных ресурсов за счет оперативного маневрирования наличными резервами мощности.

В настоящее время на кафедре электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета с участием студентов реализуется научно-исследовательский проект по поиску путей интеллектуализации управления такими газотурбинными установками в составе распределенной системы электроснабжения.

Предпринятый поиск вариантов построения подобных систем по публикациям различных авторов [2-5] позволил выделить интересное и перспективное направление – «виртуальные электростанции». Целью настоящей статьи является исследование предложенной концепции «виртуальная электростанция» и анализ перспектив ее применения для решения задачи интеллектуализации управления ГТЭС в составе ЭЭС произвольного состава и конфигурации. Ценность рассматриваемой концепции для выполняемых поисковых научных исследований состоит в том, что ее использование позволит укрупнить структурные модули при управлении электросистемой и рассматривать не отдельные ГТЭС, а совокупности генерирующих модулей, которые рассматриваются как единая виртуальная сущность. При этом становится возможной постановка задачи управления такими системами так, как будто это реальная электростанция, а не совокупность отдельных электростанций разнообразного исполнения: газотурбинных, газопоршневых, парогазовых или выполненных на основе возобновляемых, альтернативных источников энергии.

Понятие виртуальной электростанции. Термин «виртуальная электростанция» довольно новый. Основная концепция состоит в том, что

генераторы электроэнергии, включающие как устройства, работающие на возобновляемых источниках энергии, так и уже традиционные установки, работающие на природном газе, дизельном топливе и т.д., образуют систему согласованно работающих устройств, которые контролируются и управляются из единого центра.

Зададимся вопросом: что такое виртуальная электростанция (ВЭ)? Ключевая идея ВЭ — распределенная облачная система-агрегатор, которая объединяет и перераспределяет электроэнергию различных источников и производителей. Данная система обеспечивает получение дополнительных мощностей без инвестиций в их строительство. Инфраструктура ВЭ – это системы учета потребления и отдачи в сеть электроэнергии, и программное обеспечение для балансирования энергосистемы и сглаживания пиковых нагрузок [2].

Выработка энергии возобновляемыми источниками энергии зависит от погоды и часто достигает максимума, когда она не требуется. Современные газогенераторы, способные гибко реагировать на необходимость увеличения выработки за счет добавления топлива, являются дорогостоящим и неэкологичным способом решения этой проблемы. Но в то же время можно особым образом изменить график потребления и перераспределить нагрузку по фидерам, чтобы отпала необходимость в дополнительных генераторах. Поэтому появился подход, называемый "виртуальная электростанция". Это технология заключается в точечном управлении потреблением электроэнергии в большом количестве домов и офисов, частичном отключении и включении потребителей в соответствии с требованиями к потреблению энергии. Но для этого нужно иметь доступ к тысячам устройств для достаточно быстрого реагирования, а это непростая задача.

Рассмотрим пример реализации подобной виртуальной системы.

Три компании из Канады реализовали совместное управление комбинацией подключенных нагрузок мощностью 11,5 МВт. Эти нагрузки не просто могут отключаться на некоторое время для уменьшения сбоев в сети, они могут поглощать избыточную мощность. Таким образом, вместо того, чтобы просить потребителей отключиться по принципу «все или ничего», была построена структура с оборудованием для отдельных пользователей, объединенных в пять отдельных поставщиков услуг для управления спросом и управления ими на региональной основе. Эта структура основана на идее распределенной системы балансировки сети с иерархическим управлением. На рисунке 1 показано объединение потребителей и генераторов в согласованные кластеры, которые образуют четыре виртуальных электростанции. [4].

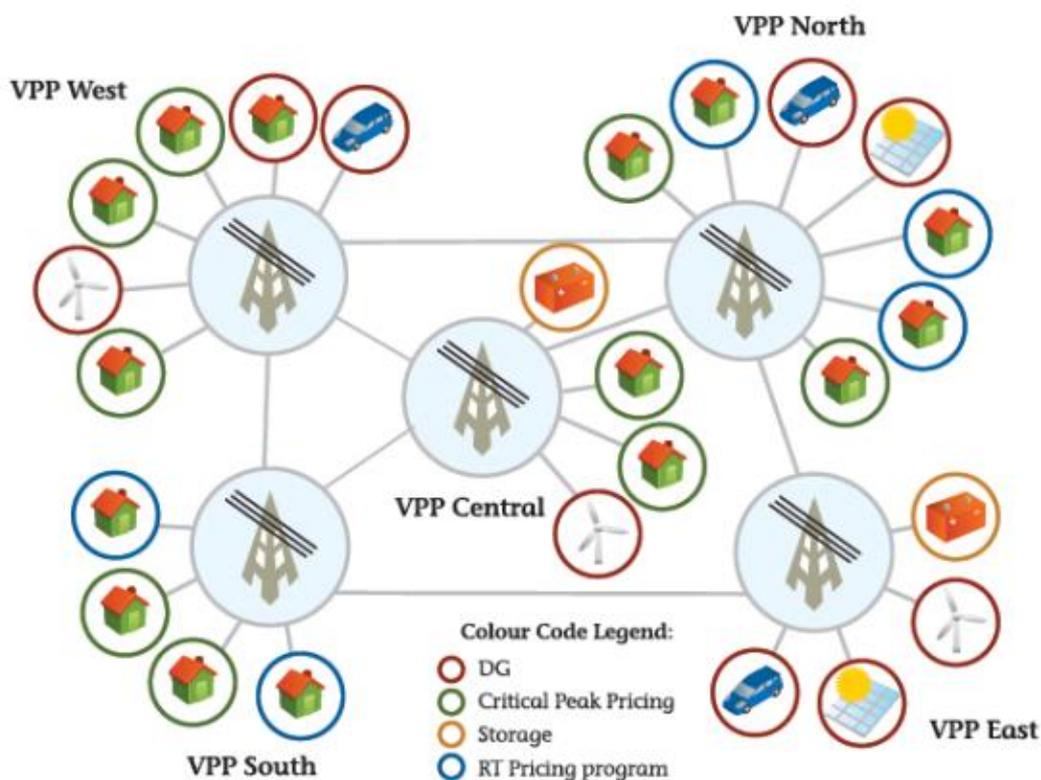


Рисунок 1. – Логическая структура энергосистемы с четырьмя координированными виртуальными электростанциями. Обозначения DG – распределенный источник, Critical Peak Pricing – ценообразование в пиковый период, Storage - накопители, RT Pricing Program - участники программы оплаты в реальном времени [5].

Основными узлами системы являются индивидуальные нагрузки, позволяющие переключаться во времени и снижать энергопотребление. Они включают в себя различное электрооборудование, например, системы кондиционирования воздуха в зданиях, которые медленно меняют настройки температуры в течение дня [4].

Таким образом, ВЭ – это информационная система, в которой информация о доступном производстве и спросе на электрическую энергию циркулирует в режиме реального времени. А также возможность автоматически определять наиболее эффективный источник на данный момент с учетом множества факторов, от рыночной ситуации до прогноза погоды.

В настоящее время вопросам изучения возможностей создания и функционирования виртуальных электростанций уделяется повышенное внимание в многочисленных научных исследованиях, предпринимаемых в разных странах мира. При этом нужно отметить, что большинство этих исследований посвящены сугубо экономическим аспектам, а именно, вопросам купли-продажи электрической энергии. И в этом нет ничего странного. Ведь изначально цель такая и была: выгодно продавать электроэнергию, а для этого соответственным образом и управлять такой

«виртуальной электростанцией». Однако в настоящее время всё большее внимание уделяется и вопросам чисто технической реализации подобных виртуальных электростанций [3]. При этом в рассмотрении значимыми становятся и такие характеристики как надежность и качество вырабатываемой электроэнергии.

Кратко рассмотрим состав и особенности виртуальных электростанций. Виртуальная электростанция состоит из трех разных групп элементов:

– элементы, производящие электрическую энергию (генерирующие установки);

– элементы, потребляющие электрическую энергию и подвергаемые управлению, среди них: бытовые (холодильники, телевизоры, стиральные машины и т.д.), и промышленные, функционирование которых во многом зависит от конкретного технологического процесса.

– элементы, накапливающие электрическую энергию (различные аккумуляторы, механические и гидравлические накопители).

В литературных источниках отмечаются следующие преимущества виртуальных электростанций: во-первых, из-за того, что энергия вырабатывается вблизи места потребления и распределяется между участниками, нет необходимости транспортировать ее на большие расстояния при высоком напряжении. Таким образом, потери энергии снижаются до минимума или вообще исчезают.

Во-вторых, надежность системы повышается за счет оптимизации процесса производства энергии в реальном времени в соответствии с потреблением.

Кроме того, виртуальные электростанции управляют своими компонентами наиболее экономичным способом благодаря способности быстро реагировать на изменения местных условий нагрузки и учитывать изменяющиеся параметры энергетических компаний.

Интеллектуализация управления ГТЭС с применением концепции виртуальной электростанции. Создание электростанций малой и средней мощности на базе газотурбинных установок – одно из конкурентно-значимых направлений отечественной промышленности. Например, в г.Перми уже почти 30 лет создают энергетические газотурбинные установки на базе авиационных двигателей Д-30 и ПС-90 для построения на их основе газотурбинных электростанций (ГТЭС) различной мощности и различного числа генерирующих модулей. Целый комплекс предприятий города занимается созданием «под ключ» таких электростанций и внедрением их у потребителя, почти каждый такой проект де-факто является уникальным. Приходится учитывать особенности и характеристики работы электростанции в каждом конкретном случае. Поэтому важную роль играют системы управления, автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), которые создаются одновременно с новыми электростанциями. И не только ГТЭС, но и сами по себе газотурбинные установки (ГТУ) работоспособны только при наличии системы автоматического управления (САУ).

Зачастую САУ ГТУ строятся до сих пор на принципах построения САУ авиационных двигателей, но эти двигатели теперь конвертированы для работы в новых условиях. Они становятся приводом для электрогенераторов. Недостатки таких традиционных подходов сказываются и на более высоких уровнях управления, например, на уровне АСУ ТП. В результате неэффективной работы АСУ малых и средних электростанций страдает качество вырабатываемой электроэнергии по частоте и напряжению, ухудшается надежность, экономичность и экологичность преобразования природного и попутного нефтяного газа в электрическую энергию и тепло.

Ситуация осложняется тем, что такие ГТЭС должны функционировать в системе, где одна электростанция оказывает влияние на другие, и это влияние нужно как-то учитывать. Ввиду сложности возникающей задачи управления многосвязным, многокомпонентным объектом с изменяющейся конфигурацией необходимо привлекать новейшие достижения теории автоматического управления и, в частности, интеллектуализированное управление.

Поэтому в настоящее время проводятся разнообразные исследования в области использования различных элементов искусственного интеллекта, в частности, искусственных нейронных сетей и построенных на их основе нейросетевых моделей для совместного решения комплекса вопросов производства, распределения, энергоресурсосбережения, надежности и безопасности электроснабжения. Не секрет, что сегодня при работе в составе сети малых генерирующих мощностей возникают нередко аварийные ситуации из-за конфликта отдельных электростанций между собой, что во многом сводит на нет преимущества сети малых энергетических модулей как практически неубиваемой системы электроснабжения. Помимо этого в рамках одного энергомодуля ГТЭС тоже имеют место конфликты между отдельными взаимодействующими САУ, например САУ ГТУ и САУ синхронным генератором. Неправильное их взаимодействие приводит к развитию аварийных ситуаций, например, самораскачиванию, приводящему к срабатыванию защит и аварийному отключению электростанций. Для снятия этих проблем и рассматриваются возможности интеллектуализации управления такими ГТЭС при работе в составе сети подобных электростанций.

Концепция виртуальной электростанции открывает в этом вопросе дополнительные и серьезные перспективы. Настоящая статья только первый шаг в этом исследовании. Ближайшие результаты планируется получить и оценить при помощи математического моделирования на уже имеющихся в распоряжении исследователей оригинальных программных средствах.

Рассмотрим, как может быть использована концепция виртуальной электростанции при интеллектуализации управления ГТЭС. Как было отмечено, отдельная ГТЭС должна в перспективе «видеть» окружающую обстановку (рисунок 2). Этой обстановкой является внешняя по отношению к ГТЭС ЭЭС. Так вот, реализацию данной концепции целесообразно начать с

выделенных секторов ЭЭС, которые рассматривать в качестве виртуальных электростанций.

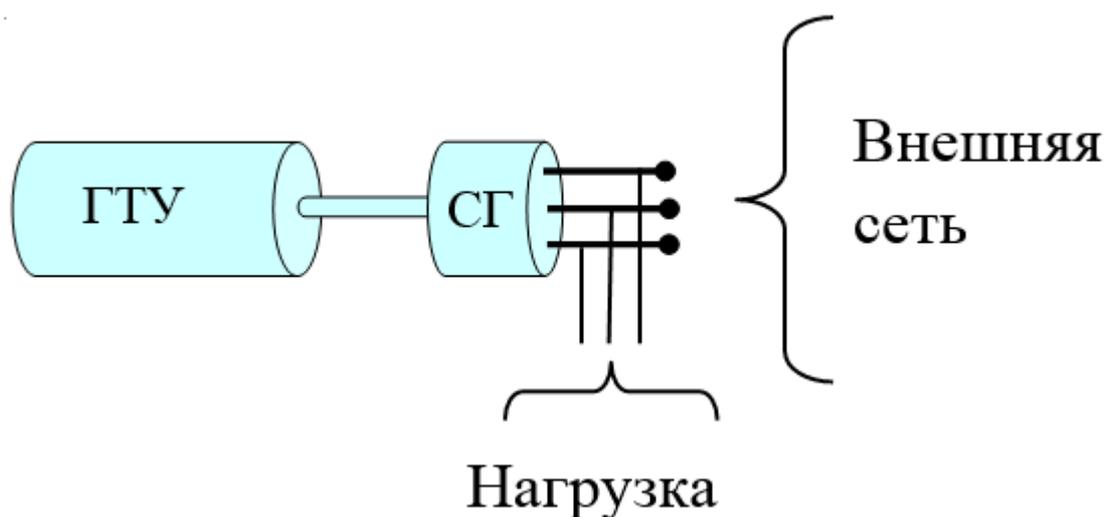


Рисунок 2 – ГТЭС, как открытая система

Такие выделенные секторы ЭЭС позволят легче решать задачи построения математических моделей, по которым будет возможно ориентироваться в изменяющейся обстановке. В настоящее время для этих целей исследуется возможность применения искусственных нейронных сетей (ИНС) [1]. ИНС используются как средство моделирования ЭЭС, в настоящее время получены такие модели для ряда структур. Однако встает задача выбора ограниченной области ЭЭС, и такой ограниченной областью ЭЭС в перспективе может рассматриваться виртуальная электростанция, состоящая из ограниченного набора генерирующих модулей.

Заключение. Исходя из вышеизложенного, использование виртуальных электростанций сокращает потери на передачу электроэнергии, уменьшает потребности в создании резервов для компенсации пиковых потреблений энергосистемы, в реальном времени оптимизирует процесс производства энергии в соответствии со спросом. Не создавая электроэнергию непосредственно, виртуальные электростанции позволяют высвобождать дополнительные мощности благодаря интеллектуальному управлению потребителями.

Очень важно, что это более экологичный способ снизить вредные выбросы в атмосферу, чем традиционная генерация с управляемыми параметрами.

Таким образом, виртуальные электростанции обеспечивают максимум преимуществ всем участникам процесса от генерирующих и транспортирующих компаний до конечных потребителей.

Следовательно, концепция виртуальных электростанций может быть рекомендована для изучения и применения при решении задач интеллектуализации управления ГТЭС.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 19-48-590012

Список литературы

1. Ждановский Е. О., Кавалеров Б. В., Килин Г. А. Разработка нейросетевой модели газотурбинной электростанции для настройки регуляторов газотурбинной установки // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – Т. 3. – №. 12. – С. 479-485.

2. Большие данные и их приложения в электроэнергетике, от бизнес-аналитики до виртуальных электростанций/ Крылов В.В., Крылов С.В. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: publications.hse.ru (дата обращения 25.10.20).

3. Виртуальные электростанции и реальные киловатты / Т.Данилова // *Атомный эксперт* – 2018. – № 9 – С. 49-54 [электронный ресурс] – режим доступа:

https://www.dropbox.com/s/ek1plwz1vko5h9q/AE_%239_2018_web.pdf?dl=0, свободный - (дата обращения 03.10.20).

4. Повышение эффективности децентрализованных систем электроснабжения / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо, И.А. Липужин, А.Ю. Кечкин, А.А. Ворошилов // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. – 2018. – № 3 (122) – С. 81-91. <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-detsentralizovannyh-sistem-elektrosnabzheniya/viewer> (дата обращения 18.09.20).

5. Zurborg A., «Unlocking Customer Value: The Virtual Power Plant» 2010. [электронный ресурс] – режим доступа: https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/ABB_Attachment.pdf (дата обращения 24.10.20).

Сведения об авторах

Старцев Евгений Александрович – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, e-mail: starcev.2013s@yandex.ru

Руководитель: Кавалеров Борис Владимирович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электротехники и Электромеханики», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, email: kbv@pstu.ru

About the author

Startsev Evgeny Alexandrovich – Perm National Research Polytechnic University Student, Perm, e-mail: starcev.2013s@yandex.ru

Scientific supervisor: Kavalero Boris Vladimirovich - Doctor of Technical Sciences, Head of Electrical Engineering and Electromechanics Department, Perm National Research Polytechnic University, Perm, email: kbv@pstu.ru