



## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

И.М. Казымов, Б.С. Компанец

(Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова)

Представлен алгоритм управления спросом на электрическую энергию в электрических сетях низкого напряжения коммунально-бытового сектора, основанный на использовании современных многотарифных приборов учета электроэнергии. Проведен анализ достигнутого уровня технологий в рассматриваемой области. Сформулирована оригинальная концепция управления спросом на электроэнергию. Описаны перспективы применения алгоритма управления спросом электробытовыми компаниями. Приведены рекомендации и указания по использованию разработанного алгоритма.

Ключевые слова: электрическая сеть, АИИС КУЭ, распределительная сеть, спрос на электрическую энергию, управление спросом, алгоритм управления, системы электроснабжения.

### Введение

На сегодняшний день проблема нехватки мощности в распределительных сетях низкого напряжения остается одной из наиболее актуальных в электросетевом комплексе РФ. Морально и физически устаревшие системы электроснабжения, выполненные в середине XX века, не были рассчитаны на значительное увеличение потребления электроэнергии. Наиболее остро проблема проявляется в сельских и городских электрических сетях удаленных районов страны. Нехватка мощностей силовых трансформаторов и низкая пропускная способность линий электропередачи приводят к возникновению повышенных технических потерь в таких системах электроснабжения, к выходу показателей качества электрической энергии за установленные государственными стандартами рамки, а также к возникновению и развитию технологических нарушений, в результате которых система электроснабжения или ее часть полностью прекращает функционировать на некоторое время, причем время перерыва в электроснабжении в удаленных сельских и городских электрических сетях может составлять до нескольких суток.

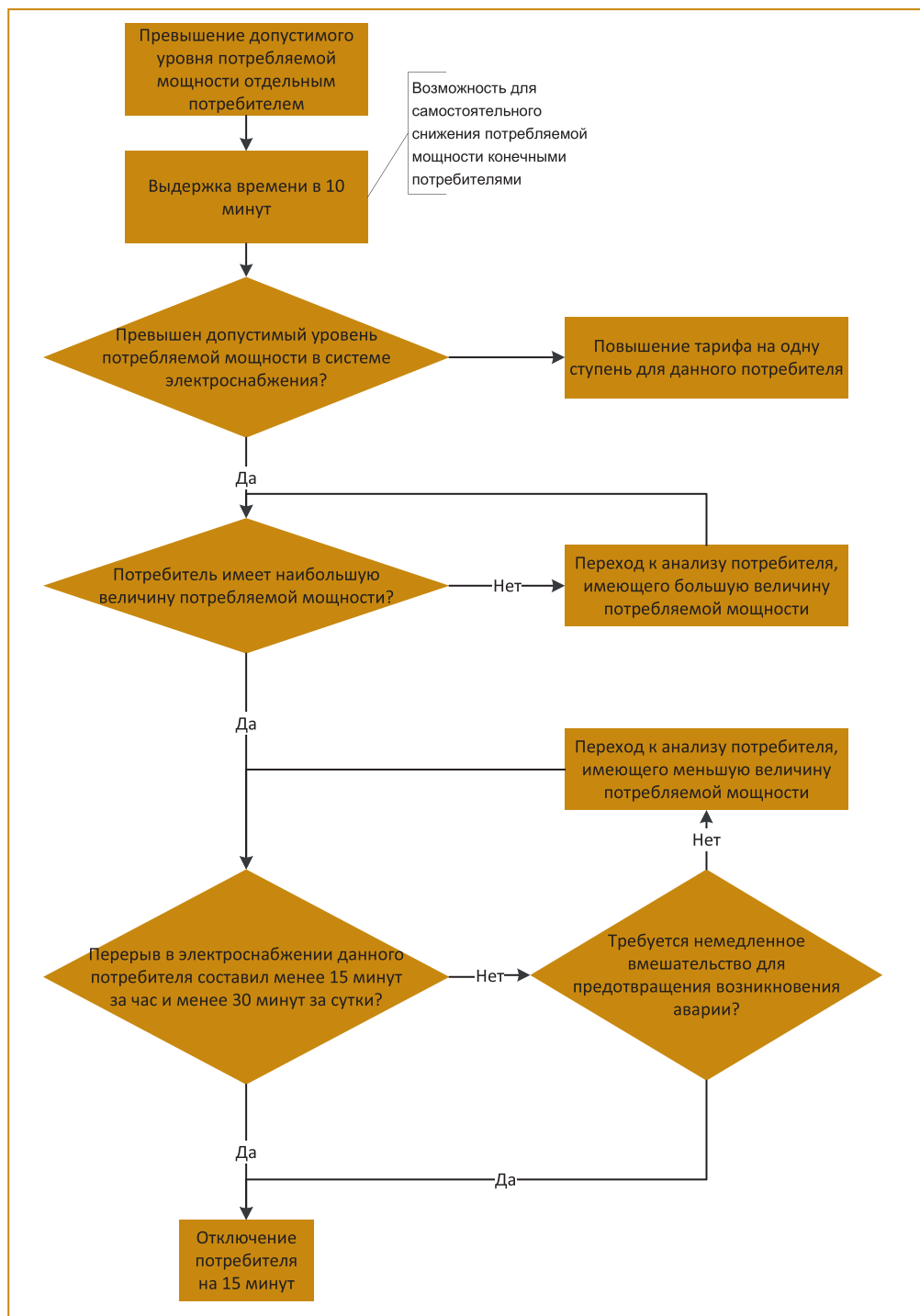
Управление спросом на электроэнергию в широком смысле находится в области интересов всех участников рынка электроэнергии и мощности: от генерирующих компаний до сбытовых и компаний, обеспечивающих поддержание заданных режимов работы системы электроснабжения. В разрезе систем электроснабжения коммунально-бытового сектора управление спросом находится в сфере интересов электросетевых и сбытовых компаний, так как оно предполагается, что внедрение эффективных алгоритмов управления спросом на электрическую энергию позволит повысить надежность электрических сетей за счет снижения числа возникновения технологических

нарушений по причине перегрузки элементов, а также снизить издержки компаний, связанные с повышенным уровнем потерь электрической энергии. Ведь снижение величины напряжения у конечных потребителей по причине превышения передаваемой по линии мощностью пропускной способности линии приводит к тому, что реальное потребление электрической энергии потребителями снижается.

Вопросы создания эффективных методик и систем управления спросом на электрическую энергию широко рассматриваются в русскоязычной и зарубежной литературе. Отметим ряд трудов, направленных на создание методик ориентированного управления спросом на электрическую энергию [1, 2]. Также заслуживают внимания приведенные в некоторых исследованиях модели управления спросом [3]. Независимо от конкретной рассматриваемой проблемы исследователи в данной области отмечают, что внедрение эффективных инструментов управления спросом позволило бы снизить стоимость электрической энергии для конечных потребителей в РФ [4, 5, 6].

Однако в основной массе опубликованных на сегодняшний день исследований по проблеме управления спросом не уделяется достаточного внимания действенным алгоритмам, позволяющим эффективно производить управление спросом в системах электроснабжения сравнительно невысокой мощности в коммунально-бытовом секторе городских и сельских электрических сетей, что характеризует данное исследование как недостаточно проработанное.

Таким образом, целью работы является разработка эффективного алгоритма управления спросом на электрическую энергию в распределительных сетях низкого напряжения коммунально-бытового сектора.



Алгоритм управления спросом на электрическую энергию в распределительной сети низкого напряжения

**Материалы и результаты работы**

Управление спросом на электрическую энергию в масштабах крупной системы электроснабжения подразумевает возможность влияния на потребление электрической энергии в двух направлениях:

- снижение спроса на электрическую энергию в часы пиковых нагрузок для предотвращения возникновения необходимости в запуске дополнительных генерирующих мощностей, перегрузки отдельных элементов и участков

системы электроснабжения и т. д.;

- повышение спроса на электрическую энергию в часы минимальных нагрузок для предотвращения необходимости остановки генерирующих мощностей т. д.

Очевидно, что основной целью управления спросом является снижение пиков нагрузки и выравнивание суточного графика нагрузки. Идеализированным вариантом суточного графика нагрузки является прямая линия. Достижение указанных целей позволит повысить устойчивость энергетической системы, снизить издержки генерирующих и электросетевых компаний, в связи с чем для конечных потребителей сможет быть снижена стоимость электроэнергии.

Несмотря на то, что указанные аспекты актуальны в большей степени для оптового рынка электроэнергии и крупных организаций, управление спросом с аналогичными целями в конечных системах электроснабжения также имеет смысл для повышения эффективности работы: как с технической, так и с экономической стороны. Однако управление спросом для систем электроснабжения в коммунально-бытовом секторе должно быть связано с воздействием на конечных потребителей электрической энергии.

Так, для обеспечения заданного уровня электропотребления в распределительной сети низкого напряжения возможно применение двух видов мероприятий:

- организационных: информирование потребителей о необходимости ограничения потребления в определенные часы пикового потребления и возможности повышения нагрузки в часы недостаточного потребления. Таким образом, за счет переноса потребления с пиковых часов на часы с недостаточным потреблением (например, ночные

часы) может быть выровнен суточный график потребления, что положительно скажется на уровне потерь электроэнергии и снизит вероятность возникновения технологических нарушений из-за перегрузки элементов;

- технических: предупреждение и/или отключение потребителей при превышении уровнем потребляемой мощности заданного ограничения. Таким образом, за счет принудительного ограничения потребления некоторых потребителей может быть предотвращено превышение общей нагрузкой сети максимально допустимого уровня, что также положительно скажется на уровне потерь и снизит вероятность возникновения нарушений, однако неблагоприятно скажется на конечных потребителях (по причине возможного выхода из строя электроприборов и порчи другого имущества).

Организационные мероприятия могут выполняться сотрудниками электросетевых и сбытовых компаний, однако полнота и качество их выполнения зависит от конечных потребителей, в связи с чем эффективность данных мероприятий не может предполагаться высокой, а также не может быть достигнут требуемый уровень потребления, поэтому необходимо внедрение технических мероприятий.

Повышение эффективности организационных мероприятий может быть достигнуто тарифной дифференциацией по времени суток, что достижимо в современных условиях за счет использования многотарифных приборов учета. Так, предлагается ввести систему трехступенчатого тарифа:

- базовый тариф – активен в часы среднего уровня нагрузки;
- повышенный тариф – активен в часы пиковой нагрузки;
- льготный тариф – активен в части низкого уровня нагрузки.

Таким образом может быть достигнуто повышение эффективности организационных мероприятий за счет добавления эффекта мотивации для конечных потребителей по строгому исполнению предписанного режима потребления.

Технические мероприятия по отключению потребителей могут производиться в автоматизированном режиме при помощи удаленного управления современными приборами учета, причем полнота и качество их выполнения полностью зависят от настройки программного обеспечения управляющих элементов.

В случае применения мер, связанных с полным отключением потребителей от системы электроснабжения для сохранения загрузки источников питания и линий электроснабжения в допустимых пределах, необходимо соблюдать баланс применяемых мер и получаемого эффекта. Так как в случае частых отключений/включений может выходить из строя бытовая техника потребителя, но и в общем случае отключение электрической энергии снижает уровень жизни человека и может привести к порче другого имущества (отключение приборов для сохранения температурных условий в заданном объеме).

Повышение эффективности технических мер может быть достигнуто за счет применения оригинального

алгоритма управления спросом, содержащего следующие правила:

- отключение потребителя происходит при превышении допустимого уровня потребляемой мощности на время, превышающее 10 мин;
- допустимые уровни потребляемой мощности корректируются в течение суток и соответствуют ступеням тарифа (при низком уровне нагрузки ниже тариф и выше лимит потребляемой мощности, и наоборот);
- при превышении допустимого уровня потребляемой мощности отдельным потребителем на фоне нахождения общей потребляемой мощности в сети на допустимом уровне потребитель не отключается (однако для него начинает работать следующая ступень тарифа);
- в первую очередь подвергаются отключению потребители, имеющие наибольший уровень потребления;
- отключение потребителя происходит на время, достаточное для прохождения пика нагрузки, но не может превышать 15 мин/ч и 30 мин/сут. — при этом при необходимости отключаются другие потребители;
- в случае необходимости сохранения заданного режима потребления потребители могут быть отключены более чем на 30 мин.

Графически разработанный алгоритм управления спросом на электрическую энергию в распределительных сетях низкого напряжения коммунально-бытового сектора представлен на рисунке.

Алгоритм обеспечивает эффективное управление спросом конечных потребителей на электроэнергию в коммунально-бытовом секторе. Эффективность достигается за счет комбинации мотивации потребителей экономического и психологического характера (стремление сэкономить на электрической энергии и минимизировать риски перерыва электроснабжения, которые приводят к снижению качества жизни и могут привести к порче имущества), благодаря которой непосредственное участие в процессах управления спросом входит в сферу интересов потребителя, и применения мер технического характера (принудительное отключение потребителей в случае необходимости сохранения нормальных режимов работы системы электроснабжения).

Перспективы применения разработанного алгоритма в электросбытовых компаниях предсказуемы, однако на сегодняшний день реализация как организационных, так и технических мероприятий по управлению спросом в некоторых сетях может быть затруднена по причине отсутствия обеспеченности современными приборами учета, имеющими возможность ведения многотарифных расчетов и удаленного управления потреблением. Однако при условии наличия технической возможности внедрение и начало применения указанного алгоритма не является затратным мероприятием, поскольку требует лишь подготовки и настройки программного обеспечения для проведения расчетов и выполнения отключения потребителей, а также проведения информационной кампании по разъяснению о функционировании системы управления спросом. Предполагается, что экономическая составляющая мотивации конечных потребителей и перспектива

перерыва в электроснабжении по причине повышенного потребления электрической энергии будет способствовать повышению уровня участия потребителей в данном процессе, учитывая, что правила принудительного ограничения потребляемой мощности являются лояльными по отношению к потребителям.

Использование данного алгоритма рекомендуется в системах электроснабжения с повышенным уровнем технических потерь электрической энергии, а также в систематически перегружаемых электрических сетях. Также возможно раздельное использование организационных и технических мер по ограничению потребления электрической энергии в зависимости от ситуации для достижения максимального эффекта.

Отметим, что применение системы управления спросом в сетях коммунально-бытового сектора будет негативно сказываться на величине коммерческих потерь электрической энергии в сети по причине роста тарифов в часы пиковой нагрузки и возможности возникновения перерыва в электроснабжении потребителей. Однако в данном случае коммерческие потери будут обнаруживаемыми, так как появляется возможность прогнозировать места их возникновения — с большей вероятностью точкой возникновения коммерческих потерь будут те участки сети, которые наиболее близко расположены к систематически отключаемым потребителям и потребителям с высокой нагрузкой.

#### Заключение

В настоящем исследовании проведена разработка алгоритма управления спросом на электрическую энергию в распределительных сетях низкого напряжения коммунально-бытового сектора, обоснована эффективность применения упомянутого алгоритма.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы в основной деятельности электросбытовых компаний.

В качестве перспективы дальнейших исследований по данной проблеме следует выделить следующие основные направления:

**Казымов Иван Максимович** — аспирант, **Компанец Борис Сергеевич** — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта» Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова.  
E-mail: bahek1995@mail.ru kompbs@mail.ru

- разработка аппаратной базы для ограничения потребляемой мощности без необходимости отключения;
- разработка аппаратной базы для разделения нагрузок на основные и второстепенные;
- разработка программных средств для реализации алгоритмов управления спросом.

#### Список литературы

1. Нехороших И. Н., Коршиков Г. А. Современные способы управления спросом на электроэнергию [Текст] / И. Н. Нехороших, Г. А. Коршиков // АЛЛЕЯ НАУКИ. 2018. №9(25). — С. 434-441.
2. Дзюба. А. П. Методические основы разработки комплексной модели ценозависимого управления спросом на потребление энергоресурсов [Текст] / А. П. Дзюба // Трансформация национальной социально-экономической системы России: Материалы I Международной научно-практической конференции, Москва, 30 ноября 2018 года. — Москва: Российский государственный университет правосудия, 2019. — С. 172-179.
3. Катыхин, А. И. Модель участия потребителей розничного рынка в управлении спросом на электроэнергию / А. И. Катыхин, И. Н. Нехороших // Естественные и технические науки. — 2019. — № 5(131). — С. 237-239.
4. Баев И. А., Соловьева И. А., Дзюба А. П. Актуальные задачи внедрения системы управления спросом на электропотребление в России [Текст] / И. А. Баев, И. А. Соловьева, А. П. Дзюба // ВЕСТНИК НАУКИ СИБИРИ. 2015. — №4(19). — С.116-129.
5. Иконников, С. Е. Управление спросом и энергопотреблением в адаптивной микросети [Текст] / С. Е. Иконников // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. — 2018. — № 14. — С. 92-99.
6. Гительман Л.Д., Ратников Б.Е., Кожевников М.В. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России [Текст]/ Л.Д. Гительман, Б.Е. Ратников, М.В. Кожевников // Эффективное антикризисное управление. 2015. — №14. — С. 15-16.

#### «Щекиноазот» приобрел «зеленые» сертификаты на блокчейн-платформе Сбера

На блокчейн-платформе Сбера совершена третья по счету сделка по покупке «зеленых» сертификатов (Renewable Energy Certificates, REC). Химическая компания «Щекиноазот» — один из лидеров производства продуктов промышленной химии и химического оборудования — приобрела сертификаты у ПАО «ТГК-1».

«Зеленые» сертификаты подтверждают происхождение энергии из возобновляемых источников, в случае с компанией «Щекиноазот» — с помощью гидрогенерации. Генерирующие компании, такие как ПАО «ТГК-1», могут продавать сертификаты независимо от физических поставок электроэнергии. Данный инструмент повышает прозрачность потребления возобновляемой энергии и дает возможность компаниям подтвердить соответствие современным ESG-стандартам.

Блокчейн-платформа Сбербанка — работающий и эффективный инструмент для мгновенных и безопасных сделок по обороту таких цифровых активов, как «зеленые» сертификаты.

«Щекиноазот» — уже третья компания, которая закупает «зеленую» энергию на блокчейн-платформе Сбера. До нее успешные сделки на этой платформе также провели «КуйбышевАзот» и «Полюс». Растущий спрос на этот инструмент говорит о том, что бизнес видит в нем современный и эффективный способ переходить к экологичному производству и снижать свое негативное влияние на окружающую среду. Сбер продолжает развивать свои инновационные «зеленые» решения, помогающие российскому бизнесу проводить ESG-трансформацию.

[Http://www.sberbank.ru](http://www.sberbank.ru)

<sup>1</sup> ESG (E - environmental, S - social, G - corporate governance) — это набор характеристик, по которым можно оценить социальную и экологическую ответственность бизнеса, меры, которые принимает компания, чтобы улучшить окружающий мир.