

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли
Высшая инженерно-экономическая школа

Работа допущена к защите

Директор
Высшей инженерно-экономической
школы

_____ Д.Г. Родионов
« ____ » _____ 20__ г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
РАБОТА БАКАЛАВРА**

**АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ЦЕНОЗАВИСИМОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ
ДЛЯ СУБЪЕКТОВ РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

по направлению подготовки _____ 38.03.01 Экономика
(код и наименование направления подготовки)

направленность (профиль) _____ 38.03.01 14 Экономика энергетики
(код и наименование направленности (профиля)
образовательной программы)

Выполнил студент
гр. 3733801/71401

_____ О.В. Тузла

Руководитель
доцент ВИЭШ
к.э.н, доцент

_____ О.В. Новикова

Консультант
по нормоконтролю

_____ Т.М. Бугаева

Санкт-Петербург
2021

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Institute of Industrial Management, Economics and Trade
Graduate School of industrial economics

The work is admitted to defend

Head of the Graduate School
of industrial economics

_____ D.G. Rodionov
« ____ » _____ 2021

**GRADUATE QUALIFICATION PAPER
BACHELOR'S THESIS**

**ANALYSIS OF THE DEMAND RESPONSE FOR ELECTRICITY
MARKET ENTITIES**

Field of study _____ 38.04.01 Economics
(code and name)

Educational program _____ 38.03.01_14 Energy economics
(code and name)

Completed by student
gr. 3733801/71401 _____ O.V. Tuzla

Supervisor
Associate Professor at the GSIE,
Cand. Sc. (Economics), Associate Prof. _____ O.V. Novikova

Consultant
for standards compliance _____ T.M. Bugaeva

St. Petersburg
2021

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА
ВЕЛИКОГО**

**Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли
Высшая инженерно-экономическая школа**

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВИЭШ,
д.э.н., профессор
_____ Д.Г. Родионов
« _____ » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

студенту Тузла Олеся Валентиновне, гр. №3733801/71401

1. Тема работы: Анализ механизма ценозависимого потребления для субъектов рынка электроэнергии
2. Срок сдачи студентом законченной работы: «31» мая 2021 г.
3. Исходные данные по работе: Законодательные, методические, инструктивные материалы по теме. Материалы производственной практики. Монографии, учебники, справочники по теме. Статьи и другие периодические издания. Материалы INTERNET – публикаций.
4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Разновидность механизмов управления спросом в России и за рубежом; Состояние технологии на рынке электроэнергии; Агрегатор спроса; Эффект от применения технологии субъектами рынка электроэнергии; Что из себя представляет ценозависимое снижение потребления и его состояние в России; Пилотные проекты в России; Экономический эффект от механизма ЦЗСП; Анализ графиков потребления электроэнергии.
5. Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей): расчетно-аналитическая таблица; график потребления электроэнергии.
6. Консультанты по работе:
7. Дата выдачи задания «1» марта 2021 г.

Руководитель ВКР

подпись

(_____)
расшифровка

Задание принял к исполнению «1» марта 2021 г.

Студент

подпись

(_____)
расшифровка

РЕФЕРАТ

На 79 с., 5 рисунков, 18 таблиц, 1 приложение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ, МЕХАНИЗМ ЦЕНОЗАВИСИМОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, СУТОЧНЫЙ ГРАФИК ПОТРЕБЛЕНИЯ, ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.

Тема выпускной квалификационной работы: «Анализ механизма ценозависимого потребления для субъектов рынка электроэнергии».

Данная работа посвящена исследованию инновационной технологии ценозависимого потребления электроэнергии и определению экономического эффекта от ее внедрения на промышленном предприятии. Задачи, которые решались в ходе исследования:

- исследование зарубежного и отечественного опыта в области применения управления спросом на электроэнергию;
- анализ результатов пилотного проекта по созданию агрегаторов управления спросом на розничном рынке электроэнергии;
- определение экономического эффекта от внедрения технологии ценозависимого потребления;
- оценка эффективности инвестиционного проекта по внедрению АИИС КУЭ.

В качестве примера предприятия, для которого проводился расчет экономического эффекта от внедрения технологии ценозависимого потребления электроэнергии, рассматривалась ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус».

В результате был определен экономический эффект от использования механизма ценозависимого потребления и эффективность инвестирования в проект по внедрению автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Была доказана возможность применения технологии управления спросом на электропотребление на промышленных предприятиях в современных условиях розничного рынка электроэнергии. На основании проведенных исследований и расчетов были даны рекомендации для более быстрого распространения данного механизма в промышленных предприятиях.

ABSTRACT

79 pages, 5 figures, 18 tables, 1 appendice.

KEYWORDS: ENERGY EFFICIENCY, DEMAND RESPONSE, DAILY CONSUMPTION SCHEDULE, EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY.

The subject of the graduate qualification work is Analysis of the demand response for electricity market entities.

The current work is devoted to the study of innovative technology of demand response and the determination of the economic effect of its implementation on an industrial company. The research sets the following goals:

- research of foreign and Russian Federation experience in the application of the electricity demand response;
- analysis of the results of the pilot project to create demand response aggregators in the retail electricity market;
- determining the economic effect of the introduction of the demand response technology;
- assessment of the effectiveness of the investment project for the implementation of Automatic system for commercial accounting of power consumption.

Hyundai Motor Manufacturing Rus was considered as an example of an industrial enterprise for which the economic effect of the introduction of the demand response technology was calculated.

As a result, the economic effect of using the demand response and the efficiency of investment in the project for the introduction of Automatic system for commercial accounting of power consumption were determined. The possibility of applying the demand response at industrial enterprises in the modern conditions of the retail electricity market was proved. Recommendations based on the research and calculations, were given for a faster spread of this mechanism in industrial enterprise

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ.....	11
1.1. Активный потребитель в интеллектуальной энергетической системе	11
1.2. Сущность механизма управления спросом на электроэнергию	13
1.3. Мировой опыт применения управления спросом	15
1.3.1. Программы управления спросом.....	15
1.3.2. Опыт применения DR в США	18
1.3.3. Опыт использования DR в Китае	23
1.3.4. Опыт использования DR в Финляндии	24
1.4. Поведенческое управление спросом – как метод эффективного вовлечения бытовых потребителей	26
2. УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ В РОССИИ	30
2.1. Управление спросом на оптовом рынке электроэнергии	31
2.1.1. Порядок проведения отбора агрегаторов управления спросом..	32
2.1.2. Интеллектуальные приборы учета электроэнергии.....	35
2.2. Управление спросом на розничном рынке электроэнергии	35
2.2.1. Методы контроля исполнения обязательств розничного потребителя.....	38
2.2.2. Стоимость оказанных услуг по управлению спросом	40
2.2.3. Результаты пилотного проекта по созданию агрегаторов управления спросом	42
3. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕНОЗАВИСИМОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	52
3.1. Определение объема затрат на электроэнергию до и после применения механизма ЦЗСП	55
3.2. Эффект от применения механизма ценозависимого управления затратами.....	64
3.3. Оценка эффективности инвестиционного проекта по внедрению АИИС КУЭ.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	76
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня электроэнергетические рынки стремительно развиваются в контексте повышения энергоэффективности и перехода на энергетическую модель будущего. Данная модель соответствует целям устойчивого развития и защиты окружающей среды. В энергетической модели будущего ключевую роль играет спрос на электроэнергию, обеспечивающий гибкость энергосистемы, которая должна осуществляться посредством смещения спроса с пиковых периодов на внепиковые суточного потребления. В связи с тем, что электроэнергия – специфический товар, ее хранение невозможно и для того, чтобы удовлетворить максимальный спрос на электроэнергию в пиковые часы приходится планировать строительство электроэнергетической инфраструктуры, поэтому именно сокращение пиковых периодов является важным фактором для улучшения эффективности работы энергосистемы. Что касается повышения энергетической эффективности, то оно актуально для энергоемких стран, к которым относится Российская Федерация.

Для повышения энергетической эффективности и осуществления гибкости в энергосистемах внедряют инновационный механизм, называемый – управление спросом на электропотребление (Demand Response). В связи с быстрым развитием технологий, распространением систем автоматизации, развитием «интеллектуальных сетей» (Smart Grid), а также эволюцией рынков электроэнергии интерес к управлению спросом ежегодно возрастает, что обуславливает привлечение инвестиции в данную сферу. Целью механизма DR выступает суточное выравнивание объемов потребления электроэнергии благодаря смещению потребления с пиковых часов на ночные часы нагрузок работы энергетической системы.

Demand Response имеет различные преимущества, например:

- снижение затрат потребителей на оплату электроэнергии;
- удешевление стоимости электроэнергии на оптовом рынке;
- повышение надежности функционирования электроэнергетической системы;
- потребность в генерирующих мощностях сокращается.

Однако на сегодняшний день в Российской Федерации инструменты управления спросом находятся на этапе исследования и внедрения пилотных проектов. Это говорит о потребности дальнейшего изучения и разработок в данной сфере.

Актуальность темы бакалаврской работы обусловлена тем, что энергоэффективность и ее повышение являются приоритетом в развитии экономики всех стран мира. В России совершенствуется законодательство в сфере повышения энергоэффективности и энергосбережения, но при этом мало внимания уделяется проведению мероприятий данной области в промышленности. В связи с развитием оптового и розничного рынка электроэнергии выдвигаются новые требования к управлению затратами на потребление электроэнергии для роста энергоэффективности.

Цель работы состоит в обосновании эффективности внедрения технологии управления спросом на электроэнергию в промышленных предприятиях.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- рассмотреть исследования зарубежного и отечественного опыта в области применения управления спросом на электроэнергию;

- проанализировать результаты пилотного проекта 2019-2020 гг. по созданию агрегаторов управления спросом на розничном рынке электроэнергии;

- определить экономический эффект от внедрения механизма ценозависимого потребления в промышленном предприятии;

- оценить эффективность инвестиционного проекта по внедрению АИИС КУЭ.

Объектом исследования является промышленное предприятие «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» в Санкт-Петербурге. Предметом – технология ценозависимого потребления электроэнергии.

Выпускная квалификационная работа включает в себя 3 раздела, рассмотрим более подробно её структуру и элементы.

В первом разделе рассмотрены теоретические аспекты сущности механизма управления спросом на электроэнергию, участие активного потребителя в Smart Grid, применение данного механизма за рубежом, разновидности программ управления спросом, а также был выявлен новый вид DR – поведенческое управление спросом.

Второй раздел представляет собой аналитическую часть, которая включает в себя обоснование результатов пилотного проекта по созданию агрегаторов управления спросом на розничном рынке электроэнергии и выявление ключевых проблем, которые сдерживают дальнейшее развитие механизма ЦЗСП для применения потребителями розничного рынка.

Третий раздел предполагает расчет объема затрат на оплату электроэнергии до и после применения механизма ЦЗСП, определение экономического эффекта, а также оценка инвестиционной привлекательности внедрения АСКУЭ. В данном разделе доказывается возможность применения технологии управления спросом на электропотребление в промышленных предприятиях в условиях розничного рынка электроэнергии, что окажет положительное влияние на энергоэффективность и экономическую устойчивость промышленности России. На основании проведенных исследований сформулированы рекомендации для более быстрого распространения технологии управления спросом в промышленных предприятиях.

В заключении отображены основные результаты исследования, которые включают в себя трактовку расчетов относительно эффективности механизма и разработку рекомендаций для распространения ЦЗСП среди промышленных предприятий.

При написании выпускной квалификационной работы были использованы следующие методы исследования: анализ, метод экономических сравнений, обобщение и мониторинг.

Бакалаврская работа написана с использованием:

- научно-исследовательских отчетов;
 - диссертационных исследований;
 - законодательных и нормативных актов Российской Федерации в области управления энергоэффективностью и функционирования оптового и розничного рынков электроэнергии;
 - данных Федеральной службы государственной статистики;
- Библиографический список представлен в конце работы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ

1.1. Активный потребитель в интеллектуальной энергетической системе

В течение последних нескольких лет мир интенсивно развивается и характеризуется бурным развитием технологий, экономики и общества. В данных сферах происходят кардинальные изменения, которые влияют на деятельность энергетической отрасли. Электроэнергетика претерпевает инновационные преобразования на основе концепции, получившей название Smart Grid. В основу концепции Smart Grid положены следующие принципы:

- Развитие инновационных технологий (электромобили, накопители энергии, технологии передачи электроэнергии);
- Развитие информационных технологий (интеллектуальные системы управления);
- Развитие технологий и повышение доступности малой генерации;
- Мотивация активного поведения потребителя на рынке электроэнергии.

Одним из ключевых принципов Smart Grid выступает мотивация активного поведения потребителя на рынке электроэнергии. Потребитель в энергетической системе принимает участие в выравнивании графика нагрузки при помощи сглаживания нагрузки в пиковое время, при этом смещая нагрузки в периоды низкого потребления. Активный потребитель на основе баланса своих потребностей и возможностей энергосистемы вправе самостоятельно изменять объемы потребляемой электроэнергии в онлайн режиме с использованием информации о цене, объеме потребления, уровня надежности, качества электрической энергии.

«Активный» потребитель – участник электроэнергетического рынка, обладающий технологической возможностью по маневрированию своим энергопотреблением и готовностью к участию в программах по управлению спросом, который самостоятельно формирует требования к объему получаемой электроэнергии, качеству и характеру ее потребительских свойств и энергетических услуг [1].

Для того, чтобы активный потребитель имел возможность самостоятельно изменять потребление, необходимо обеспечить установку специального оборудования: счетчиков и систем учёта, которые предназначены для сбора данных и взаимодействию с сетевыми и энергосбытовыми компаниями, с актуализацией графика нагрузки

Специальное оборудование будет реагировать в период пиковых нагрузок в энергосистеме на повышение цен путем спланированного сброса нагрузки за счет снижения энергопотребления или отключения заранее спланированного перечня устройств.

Активный потребитель вправе сам определять степень своего участия в предоставлении своих услуг, которые будут находиться под управлением Системного оператора. Такой потребитель имеет свои определенные цели:

- минимизировать затраты на электроэнергию;
- получить доход от продажи электроэнергии и мощности.

К активным потребителям могут относиться как крупные промышленные потребители, так и бытовые потребители.

Активный потребитель и энергетическая компания взаимодействуют при помощи различных тарифов:

- тарифы на электроэнергию;
- тарифы за использование мощности;
- тарифы за подключение к энергосистеме.

Величина тарифов для потребителей как промышленных, так и бытовых, зависят от разных факторов: времени суток потребления, цены электроэнергии на оптовом и розничном рынках электроэнергии, региона потребителя, загруженности электрических сетей, потребляемой мощности и так далее. Управление поведением активных потребителей осуществляется через тарифы:

- если необходимо стимулировать поведение – тарифы уменьшаются;
- если необходимо ограничить нежелательное поведение – тарифы увеличиваются.

Концепция «активного» потребителя на рынке электрической энергии реализуется через механизм управления спросом.

Механизм управление спросом – это метод взаимодействия с потребителем, который предполагает его активное участие в формировании и регулировании нагрузки, при помощи стимулирующих выплат активному потребителю.

В настоящее время в России на рынках электроэнергии механизмы и мотивационные инструменты «активного» потребителя развиты недостаточно.

Для того, чтобы реализовать концепцию активного потребителя необходимо пересмотреть штрафные коэффициенты за гибкое реагирование потребителей таким образом, чтобы можно было интегрировать механизм стимулирования разгрузки в существующую систему рынков электроэнергии и мощности.

1.2. Сущность механизма управления спросом на электроэнергию

Для обеспечения эффективной и надежной работы энергетической системы необходимо обеспечить баланс спроса и предложения. Электроэнергия – специфический товар, который характеризуется одновременным производством и потреблением, невозможностью создания резервов и товаров заменителей. Ввиду данных факторов обеспечить баланс спроса и предложения нелегко.

Предложение электроэнергии может резко изменяться из-за следующих причин: вынужденные отключения генераторных установок, повреждения линий электропередач и распределения, а также внезапные изменения нагрузки.

Рынок электроэнергии характеризуется неэластичностью спроса, так как при росте цены на электроэнергию потребители не уменьшают потребление этого товара. Повысить эластичность спроса на рынке электроэнергии возможно путем целенаправленного воздействия на оборудование потребителей при возникновении экономических или технологических условий. Активное участие потребителей на рынке электроэнергии может быть достигнуто с помощью соответствующих программ управления спросом.

Управление спросом (англ. Demand Response – DR) – форма экономического взаимодействия энергоснабжающих организаций с потребителями, обеспечивающая взаимовыгодное регулирование объемов и режимов электропотребления [2]. Управление спросом предполагает уменьшение пиковой нагрузки в энергосистеме за счет уменьшения потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормальной нагрузки в ответ на уменьшение цен на электроэнергию или стимулирующие выплаты.

Преимуществами внедрения программ управления спросом выступают:

- снижение затрат потребителей на электроэнергию;
- стимулирующие выплаты для потребителей в периоды разгрузки;
- удешевление электроэнергии на оптовом рынке;
- повышение надежности энергосистемы;
- сокращение затрат на строительство пиковой генерации;
- снижение потребности в дополнительных генерирующих мощностях.

Участие в технологии DR позволяет получить всем участникам рынка экономический эффект ввиду снижения выработки

дорогостоящей электроэнергии низкоэффективными генерирующими мощностями и уменьшении затрат на оплату электроэнергии и мощности.

Потребителями, участвующими в событиях управления спросом, могут выступать: крупные промышленные энергоёмкие компании; сельскохозяйственные компании; малые и средние коммерческие компании; бытовые потребители.

Для потребителей участие в DR сопряжено с получением выгоды – скидок, стимулирующих выплат за временное изменение обычного режима потребления электроэнергии. Нужно отметить, что суммарный объем потребления в течение дня остается прежним, потому что смещается только время потребления с пиковых периодов на внепиковые в период низких цен. Тем самым потребители обеспечивают гибкость электроэнергетической системы.

В событиях управления спросом в основном принимают участие предприятия промышленного сектора, смещающие нагрузки и снижающие энергопотребление в пиковые периоды. Значительный потенциал имеется у розничных потребителей, объём снижения потребления которых по отдельности не соответствуют минимальным требованиям для участия DR. Для участия таких потребителей в новой технологии было принято решение создать специализированные компании – агрегаторы.

Агрегаторы – участники оптового рынка электроэнергии, заключившие договор оказания услуг по управлению спросом на электроэнергию с Системным оператором и розничными потребителями, в котором указывается его период действия. Договор оказания услуг предусматривает изменение нагрузки потребителями розничного рынка электрической энергии в ответ на выплаты. Выплаты за участие в управлении спросом определяются таким образом, чтобы стимулировать участие достаточного количества потребителей. Компании-агрегаторы перед Системным оператором имеют обязательство по обеспечению системной надежности.

Внедрение DR на рынках электроэнергии стран мира зависит от многих факторов, например от уровня развития энергорынков, наличие активных потребителей, опыт внедрения инновационных технологий на рынке, наличие и разработка правил, регулирующих участие субъектов электроэнергетики в управлении спросом. Сегодня управление спросом на электроэнергию стало востребованным инструментом регулирования баланса спроса и предложения на энергорынке. DR применяется на рынках следующих стран: США, Канада, Китай, Южная

Корея, Великобритания, Австралия, Япония, Россия и т.д. Рассмотрим практику управления спросом в некоторых странах мира.

1.3. Мировой опыт применения управления спросом

1.3.1. Программы управления спросом

На сегодняшний день программы управления спросом широко распространены в мире интенсивно применяются на рынке электроэнергии и мощности в Европейском союзе, США, Китае, Австралии, а также в Российской Федерации и в других странах. Необходимо учесть, что уровень развития управления спросом не одинаковый во всех странах, многое зависит от специфики рынка электроэнергии, возможности участия потребителей на данном рынке, масштаба распространения технологии, политики страны в данной отрасли и т. д.

Первые эксперименты по внедрению программ управления спросом были проведены в начале 1980-х годов в США. Предпосылкой к созданию механизма стал всемирный энергетический кризис 1973 г., который повлек за собой рост цен на электроэнергию.

На мировом рынке электроэнергии и мощности применяются следующие программы управления спросом (англ. Demand Response), представленные на рисунке 1 [3].

Управление спросом подразделяется на явное (dispatchable) и неявное (non-dispatchable) управление спросом. В случае явного управления спросом с помощью уведомлений, команд из диспетчерского центра Системного оператора нагрузка потребителей изменяется (уменьшается, увеличивается). Данный подход к вовлечению потребителей в управление спросом основан на их финансовом стимулировании.

Одной из программ управления спросом выступает Demand Bidding (торги по спросу), которая используется как оптовыми потребителям, так и розничными. Данная программа предполагает перенос потребления электроэнергии на определенную величину, в определенное время суток в обмен на получение скидок за участие в событии управления спросом. Данная программа распространена в таких странах как Бангладеш, Швеция.

Direct load control (контроль нагрузки) используется всеми категориями потребителей: розничными и оптовыми. Преимуществами данной программы является возможность получения большой скидки за счет частичного снижения нагрузки, но в это время потребитель обязуется надежно исполнять команды Системного оператора. Диспетчерский центр осуществляет дистанционное управление над

использованием оборудования. К дистанционно управляемому оборудованию можно отнести кондиционеры, бойлеры, насосы. Данный вид управления спросом распространен в Швейцарии, Австралии, Сингапуре.

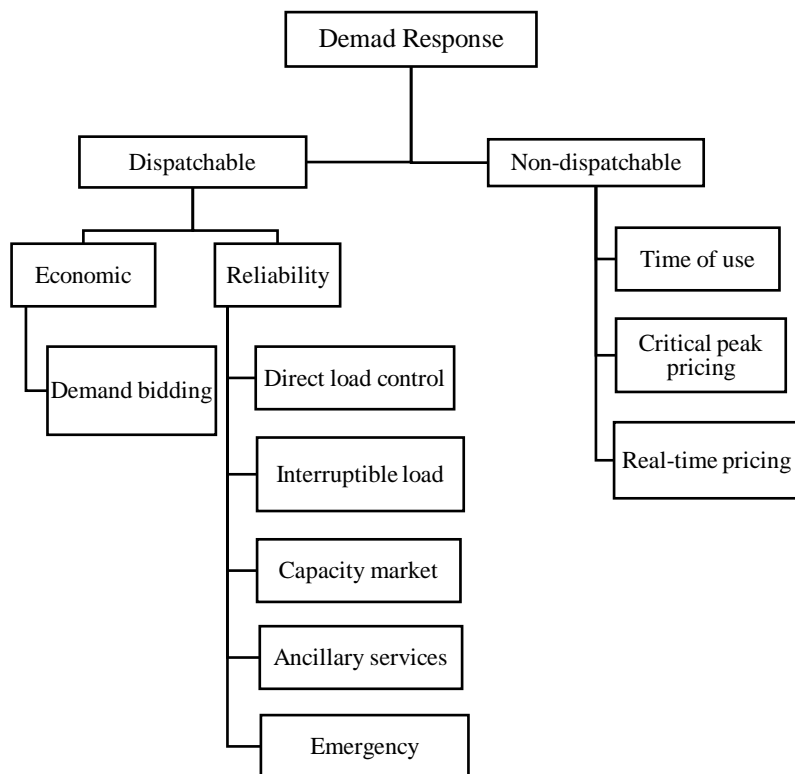


Рисунок 1 – Классификация программ Demand Response

Программа управления спросом Interruptible load (прерывание нагрузки) имеет широкое распространение среди малых и средних потребителей, которые имеют возможность полностью прервать собственную нагрузку на короткое время, за счет этого получают скидку. В определенное время по команде Системного оператора необходимо сместить или сократить нагрузку. Interruptible load широко распространен в Италии, Ирландии, Чили, Бельгии.

В программе Capacity Market (рынок мощности) участвуют средние и крупные потребители, которые на рынках мощности

обязуются снизить использование мощности по сравнению с базовым объемом потребления. Данная программа гарантирует потребителям получение скидки за исполнение обязательств. Недостатком программы выступает: в определенное время по команде Системного оператора необходимо сместить или сократить нагрузку. Capacity Market активно применяется в Южной Африке, Финляндии, Японии, Колумбии.

Программа управления спросом Ancillary services (рынок вспомогательных услуг) предполагает снижение потребления электроэнергии или ее перенос на определенную величину в обмен на получение скидок за участие в событии управления спросом. Данная программа распространена в таких странах как Норвегия, Китай, Турция, Франция.

Emergency Programmes (чрезвычайная программа) представляют собой программы чрезвычайного характера, которые осуществляют управление режимами рынка электроэнергии в критические периоды времени. В такие периоды потребители участвующие в событии управления спросом получают команду от диспетчерского центра о необходимости полного/частичного снижения нагрузки взамен на поощрение. Данная программа нала свое применение так основном странах Европы (Италия, Польша, Португалия, Новая Зеландия).

Неявное (non-dispatchable) управление спросом распространено среди бытовых и коммерческих потребителей. В неявных программах управления спросом тарифы на электроэнергию изменяются в соответствии с реальной стоимостью электроэнергии. Данные программы устанавливают высокую цену на электроэнергию в пиковые периоды и более низкие цены во вне пиковые периоды. Программы этой группы включают в себя три различные программы управления спросом: тарифы во времени использования, критическое пиковое ценообразование и ценообразование в реальном времени.

Программа Time of use (тарифы во времени использования) предполагает установление цен ежечасно в течение суток, где у потребителей есть возможность снижать потребление в определенные периоды времени, когда на потребление электроэнергии установлена максимальная цена, таким образом минимизировать затраты. Потребителю, участвующему в событии управления спросом, необходимо следить за временем. Программа в основном представлена в Бразилии.

Critical peak pricing (тариф во время критического пика потребления) используется всеми категориями потребителей. Данная программа основана на оперативном снижении потребления на

короткое время (не более часа) в обмен на скидку. Программа обычно используется во время непредвиденных обстоятельств или высоких оптовых цен на электроэнергию. Critical peak pricing нашло свое применение в таких странах: Великобритания, Канада, Индия, Мексика.

Программа управления спросом Real-time pricing (ценообразование в реальном времени) распространена в США. В этом случае потребители используют тарифы на электроэнергию, которые устанавливаются в зависимости от стоимости электроэнергии на рынке в момент потребления. Данная программа предусматривает изменение цены в течение каждого часа.

В России применяется программа управления спросом Critical peak pricing (тариф во время критического пика потребления), где потребители, участвующие в данном механизме, обладают информацией о ценах на электроэнергию в часы пиковой нагрузки энергосистемы, когда цены высокие. За счет снижения потребления электроэнергии в пиковые периоды, потребители сокращают свои затраты на оплату электрической энергии.

1.3.2. Опыт применения DR в США

Управление спросом на электроэнергию возник в США в следствие всемирного нефтяного кризиса в 1973 г., когда был принят закон и устав о национальной политике в области энергосбережения. На сегодняшний день США представляет собой абсолютного лидера в области применения и развития технология DR. Например в 1985-1995 гг. в событияи управления спросом приняли участие более 500 организаций из различных штатов, которые получили экономию 29 ГВт пиковой нагрузки.

В 2005 г. был принят Закон об энергетической политике (Energy Policy Act of 2005 – EПACT), в котором Федеральная комиссия по регулированию энергетики обязуется составлять ежегодные отчеты по результатам DR. В данном законе установлено, что участники управления спросом должны быть вознаграждены за применение технологии.

Технология управления спросом может применяться как на оптовых, так и на розничных рынках электроэнергии. Программы управления спросом используются на американских оптовых рынках электроэнергии, которые различаются географически, структурой рынка, количеством участников: PJM (Pennsylvania–New Jersey–Maryland), CAISO (California ISO), ISO-NE (ISO New England), MISO (Midcontinental ISO), SPP (Southwest Power Pool) и так далее (см. рисунок 2 [5] и таблицу 1 [4]). Целью внедрения DR на оптовый рынок

выступает оптимизация и повышение надежности энергосистемы страны.



Рисунок 2 – Территориальное деление рынков электроэнергии в США

Таблица 1 – Характеристики рынков электроэнергии в США в 2015 г.

Рынок	Число потребителей	Пиковая нагрузка, МВт	Потребление энергосистемы, МВт*ч
PJM	61 млн.	165 492	794 млн.
MISO	42 млн.	127 125	670 млн.
CAISO	30 млн.	47 358	260 млн.

Рынок PJM – крупнейший системный оператор США, который осуществляет контроль на оптовом рынке электроэнергии и активно применяет технологию DR на территории США в 13 штатах и округа Колумбии. PJM был создан в 1927 г. и был одним из первых операторов, который разрабатывал технологию управления спросом и продолжает искать новые пути ее развития.

PJM Interconnection включает три рынка:

- рынок электроэнергии;
- рынок мощности;
- рынок системных услуг.

Для участия в событии управления спросом необходимо взаимодействие с поставщиками услуг по снижению спроса (Curtailment Service Provider – CSP), которые выступают в роли агента, посредника между оптовым рынком электроэнергии и потребителя.

Минимальная установленная мощность оборудования участника на рынке должна составлять 100 кВт.

RJM предлагает своим потребителям следующие программы участия DR: экономическое (Economic) и противоаварийное (Emergency Programmes).

Именно экономическое управление спросом предоставляет возможность конечным потребителям выйти на оптовый рынок электроэнергии посредством их взаимодействия с поставщиками услуг по снижению спроса. Данная программа функционирует на рынке электроэнергии и рынке системных услуг. Участники экономического управления спросом могут уменьшать собственное потребление электроэнергии и тем самым изменять цену на электроэнергию (узловая маржинальная цена – LMP) на оптовом рынке. За снижение энергопотребления участники DR получают скидки или стимулирующие выплаты.

Противоаварийная программа используется на рынке мощности и подразумевает собой участие в аукционе мощности снижение определенного объема потребления электроэнергии в случае недостаточности предложения электрической энергии или в аварийных ситуациях. За невыполнение обязательств участникам программы выписывается штраф. В летний период или в других критических условиях, чтобы избежать напряжения в электросетях, событие управления спросом обычно проводится в будние дни с 12:00 до 20:00 (с июня по сентябрь), может длиться до 6 часов подряд на протяжении 10 дней.

Управление спросом принимает участие на рынках системных услуг RJM:

- регулирования частоты – снижение потребления электроэнергии должно осуществиться в течение 5 мин. после получения команды от Системного оператора, где изменение нагрузки происходит в режиме реального времени; стоимость услуги определяется на основе почасовой рыночной цены.
- вращающегося резерва – снижение энергопотребления происходит в течение 10 мин. после уведомления; участник DR должен быть готов к событию в любое время суток; стоимость услуги определяется на основе почасовой рыночной цены;
- на сутки вперед – сокращение потребления должно происходить в течение 30 мин. после сигнала в режиме реального времени, при этом заявка на снижение энергопотребления подается на PCB; стоимость услуги определяется на основе почасовой рыночной цены.

Midcontinental Independent System Operator – некоммерческая организация, системный оператор, осуществляющий оперативно-диспетчерское управление оптового рынка электроэнергии, мощности и системных услуг на территории США в 15 штатах и в Канаде в провинции Манитоба. Функционирует с 1998 г. после согласования с Федеральной комиссией по регулированию электроэнергетики США (ФКРЭ).

Технология DR на рынке MISO выступает в роли ресурса, который максимизирует эффективность и надежность энергосистемы. Ресурс управления спросом в MISO – demand response resource (DRR) – ресурс, управляемый участником рынка, который принял участие в событии по снижению потребления электроэнергии по команде Системного оператора [6].

На основании возможностей DRR, они могут участвовать в рынках электроэнергии, которые подразделяются на категории: DRR I и DRR II, мощности, системных услуг, в аварийных ситуациях. Ресурсы управления спросом добровольно принимают участие в снижении нагрузки, но в случае принятия статуса «ресурса мощности» их участие на рынке обязательно. Ресурсы мощности принимают участие в противоаварийном управлении спросом. Ежедневно участники противоаварийного DR определяют объем снижения потребления и его цену, которые будут действовать на следующий день.

В MISO на рынке электроэнергии существуют две категории ресурсов:

- DRR I – ресурс участника, который готов добровольно предоставлять определенный объем электроэнергии в случае непредвиденных обстоятельств.
- DRR II – ресурс участника, который готов добровольно предоставлять непрерывный поток электроэнергии или оперативного резерва мощности в соответствии с счётчиком и регулируемой организацией.

Участниками рынка могут выступать: электроэнергетические компании (Load Serving Entity), конечные потребители и агрегаторы (Aggregators of Retail Customers). Агрегаторы – компании, которые представляют одного или нескольких розничных потребителей на оптовом рынке электроэнергии.

На рынке мощности участвуют ресурсы, модифицирующие нагрузку LMR (Load Modifying Resources). LMR – запланированные ресурсы, для которых участие в аварийных ситуациях является обязательным. Такие ресурсы должны быть доступны энергосистеме ежедневно.

LMR должны соответствовать следующим параметрам [7]:

- может быть заявлен только одним участником энергорынка;
- объем снижения нагрузки должен составить не менее 100 кВт;
- участие в управлении спросом планируется в течение 12 часов;
- непрерывно в течение 4 часов происходит снижение нагрузки;
- участие в DR должно осуществляться не менее 5 раз в год;

За невыполнение обязательств на ресурс DR накладывается штраф.

Калифорнийский рынок CAISO – независимый системный оператор, который функционирует на территории штата Невада и Калифорнии. Был создан после принятия Федерального закона об энергетике от 1992 г., в задачи которого входило образование конкурентных оптовых рынков электрической энергии в США.

Основными функциями компании выделяют:

- поддержание баланса производства электроэнергии и его потребления;
- регулирования деятельности на рынке электроэнергии, системных услуг;
- обеспечение надежности энергосистемы.

Технология DR применяется оператором CAISO на рынках электроэнергии, мощности и системных услуг. В данном случае также используются две программы участия в управлении спросом: экономический и противоаварийный.

Экономическая программа представляет собой взаимодействие поставщика услуг снижения спроса (Proxu DR - PRD) и конечного потребителя на оптовом рынке электроэнергии. На рынок электроэнергии «на сутки вперед» поставщик обязуется предоставить не менее 0,1 МВт мощности на разгрузку, а на рынок системных услуг как минимум 0,5 МВт.

Противоаварийное управление спросом на рынке CAISO подразумевает собой обеспечение надежности за счет продукта RDRR (Reliability Demand Response Resource). RDRR используется на рынке в том случае, если необходимо обеспечить надежность при поставке электроэнергии в реальном времени. Поставщик услуг DR обязуется предоставить не менее 0,5 МВт мощности на разгрузку и быть готовым осуществить событие управления спросом в течение 40 мин. после команды Системного оператора.

Для привлечения большего числа участников DR энергокомпания CAISO провели первый в штате аукцион мощности, в котором участвовала технология DR. Механизм аукциона управления спросом (Demand Response Auction Mechanism – DRAM) был внедрен

на территории штата, чтобы позволить широкому кругу распределенных энергоресурсов – от систем накопления электроэнергии до электромобилей – подавать заявки на участие в оптовом рынке при условии снижения уровня энергопотребления как минимум на 0,1 МВт.[8].

Для сравнения степени участия рынков США в DR проанализируем таблицу 2 [9]. По территории функционирования по сравнению с PJM и CAISO, MISO занимает большие территории, поэтому значения объемов участвующих в DR оправданы. Стабильно развивающимся оптовым рынком выступает MISO, объемы снижения потребления электроэнергии которой ежегодно возрастают и в 2019 г. достигли максимума 13 612 МВт. Данное увеличение в основном связано с ростом LMR. К 2019 г. объем DR системных операторов PJM и CAISO по сравнению с предыдущими годами увеличился и составили соответственно 10 185 МВт и 3 200 МВт. Увеличение объема управления спросом в CAISO в 2019 г. на 800 МВт характеризуется увеличением числа участников программы Proxu DR, которая позволяет участникам получать выгоду на рынке на сутки вперед и в режиме реального времени. На рынке PJM объемы DR выросли в 2019 г. на 891 МВт, из которых 261 МВт относится к экономической программе DR, а 637 МВт зарегистрировано в противоаварийной программе.

Таблица 2 – Участие системных операторов в управлении спросом

Системный оператор	Ресурсы управления спросом, МВт				
	2015	2016	2017	2018	2019
PJM	12 866	9 836	9 520	9 294	10 185
MISO	10 563	10 721	11 682	12 931	13 612
CAISO	2 160	1 997	1 293	2 400	3 200

В результате можно отметить, что в США накоплен обширный опыт применения управления спросом и идет активное развитие и внедрение технологии

1.3.3. Опыт использования DR в Китае

Китай занимает лидирующие позиции во многих секторах промышленности и развивается быстрыми темпами по сравнению с другими странами. Ежегодно спрос на электроэнергию в Китае растет и тем самым вызывает его дефицит в последние несколько лет.

Китайский энергетический рынок по сравнению с рынками других стран был неустойчив и молод, поэтому претерпевал определенные изменения в энергетическом секторе. В 1998 г.

государственной организацией State Grid Corporation в провинции Цзянсу был создан Центр управления потреблением, который подразумевал балансирование спроса и предложения при помощи внедрения событий DR и повышения энергоэффективности. Провинция Цзянсу была первой в Китае, которая запустила пилотный проект по внедрению событий управления спросом включая следующие программы, в которых участвовали крупные промышленные компании: time-of-use, interruptible load, ancillary services. Только в 2002 г. при помощи DR в Цзянсу удалось сократить пиковый спрос на 2000 МВт, в 2003 г. – на 3000 МВт. Такие результаты способствовали экономии на строительстве угольных станций, стоимость которых составляла бы около 1,5 млрд долларов. Таким образом многие компании достигли значительных экономических и энергетических выгод, что позволило в перспективе развивать и применять программы DR.

После успешной реализации пилотного проекта по управлению спросом на электроэнергию, другие провинции Китая начали предлагать DR розничным потребителям, которые применяли time-of-use program.

Пиковое потребление электроэнергии в Китае в 2020 г. составляло около 1000 ГВт, что говорит о больших возможностях развития механизма DR на рынке электроэнергии. На данный момент технология управления спросом в Китае все еще находится на начальном этапе. Был подписан план, который к 2020 году подразумевал создание полностью функционирующей интеллектуальной сети (Smart Grid), в рамках которой будет развиваться DR.

1.3.4. Опыт использования DR в Финляндии

В Европе по оценке Smart Energy Europe (smartEn) передовыми странами по уровню развития и внедрения технологии DR выступают Финляндия, Франция, Великобритания, Бельгия, Швейцария. Исходя из [10] именно энергосистема Финляндии среди всех европейских стран является наиболее благоприятной для развития DR.

Целями внедрения DR выступали: предотвращение аварийных ситуаций, установление стабильных цен на электроэнергию; интеграция ВИЭ, снижение выбросов CO₂.

В 2013 г. Финское законодательство обязало Fingrid осуществить широкомасштабное внедрение интеллектуальных (Smart) счетчиков. На сегодняшний день доля установленных интеллектуальных счетчиков в Финляндии близка к 100%. Интеллектуальные счетчики регистрируют почасовое потребление

электроэнергии и дают доступ к технологиям для участия в управлении спросом. В Финляндии большая часть электроэнергии продается и покупается на спотовом рынке, которая открыта для участия технологии DR. На спотовом рынке поставщики предлагают потребителям тарифы на основе почасовых цен, поэтому потребители имеют возможность сократить счет за электроэнергию в краткосрочной перспективе.

Рынками, которые открыты для участия технологии DR выступают рынок системных услуг, балансирующий, спотовый, розничный рынок и т.д. На оптовом рынке DR в основном применяется крупными энергоемкими промышленными предприятиями, а также коммерческими и предприятиями сферы услуг.

На розничном рынке электроэнергии в 2014 г. был внедрен пилотный проект Smart Grids and Energy Markets (SGEM - Интеллектуальные сети и электроэнергетические рынки), целью которого выступала оценка эффективности участия бытовых потребителей в DR. В результате потенциальный суммарный объем DR 7000 частных домов составил около 10 МВт, что является хорошим результатом. Можно привести отзыв потребителя из Финляндии, который принимает участие в событиях управления спросом систематически:

«Я согласился на предложение своего поставщика электроэнергии о участии в DR и использовании автоматизированной системы оптимизации нагрева воздуха. Сейчас нагрев воздуха в моем доме автоматически контролируется с тем, чтобы использовать электроэнергию в часы, когда она дешевле: система учитывает прогноз погоды и обогревает дом в соответствии с его потребностями. Мне также нравятся простые и умные решения. Например, я могу отслеживать свое энергопотребление, контролировать нагрев воздуха и получать сообщения о ценах на электроэнергию. Это легкая в использовании услуга, к которой я могу получить доступ через компьютер и смартфон» [11].

Для мелких потребителей существуют барьеры для участия в DR в виде взносов за возможность участия и требований к минимальному объему разгрузки. Сложность участия бытовых потребителей также состоит в том, что многие интеллектуальные счетчики функционируют с задержкой в несколько часов, что усложняет коммуникацию между рынками, а также подключение Smart счетчиков в частных домах и зданиях требуют больших затрат, которые не возмещаются за счет участия в DR.

На финском рынке Fingrid кроме конечных потребителей и

крупных энергетических компаний, присутствуют компании-агрегаторы, которые объединяют мелкое потребление в единый объект, что дает им возможность участия в технологии DR на оптовом рынке электроэнергии. Для получения статуса независимого агрегатора нагрузки компании должны выплачивать ежемесячный взнос в размере 200 евро.

На сегодняшний день в Финляндии существуют определенные проблемы развития технологии DR, но страна нацелена на дальнейшее развитие механизма. В 2013 г. правительство Финляндии одобрило «Национальную стратегию в области энергетики и изменения климата», где отражено что уровень участия DR будет увеличен, в том числе при помощи внедрения Smart сетей, которые помогут обеспечить гибкость энергосистемы.

Согласно Navigant Research на рынках электроэнергии, внедряющие программы управления спросом, прогнозируется их устойчивый рост в 2019 – 2028 гг. [12]. Расходы на внедрение и реализацию DR к 2028 г. составят чуть более 6 млрд долларов. По прогнозам регулировочные возможности потребителей, участвующих в механизме управления спросом до 144 ГВт в 2025 г. по всему миру.

1.4. Поведенческое управление спросом – как метод эффективного вовлечения бытовых потребителей

В процессе управления спросом бытовые потребители задействованы в меньшей степени, чем промышленные и коммерческие потребители, так как в основном бытовые потребители не готовы отказываться от привычных условий потребления электроэнергии (отопление, освещение). Для того, чтобы экономически эффективно повысить участие бытовых потребителей в механизме ЦЗСП необходимо применить новую модель управления спросом, называемую – поведенческое управление спросом.

Поведенческое управление спросом (англ. behavioral demand response) обеспечивает вовлечение потребителей в процесс управления спросом путем организации персонализированной коммуникации с ними, в том числе в режиме, близком к режиму реального времени, с формированием стимулов, основанных на поведенческой психологии [13].

Участие в поведенческом управлении спросом является добровольным.

Основные черты поведенческого управления спросом:

- не предполагает стимулирующие выплаты для потребителя в явном виде;

- основным стимулом для участия в механизме ЦЗСП выступает коммуникация с потребителем во время необходимой разгрузки при помощи уведомлений на средства связи (телефоны, веб-сайты, приложения, сообщения);
- создание персонализированной обратной связи;
- установка специальных устройств у потребителя не осуществляется;
- необходимо задействовать большое количество активных потребителей, чтобы достичь большего эффекта от поведенческого управления спросом.

Обратная связь применяется для влияния на поведение активных потребителей в управлении спросом на электроэнергию. Так как потребители в основном платят за электроэнергию и узнают об объемах потребляемого товара значительно позже момента потребления, они становятся более восприимчивыми к последствиям своих действий в настоящее время, чем в будущем. Активных потребителей путем обратной связи обеспечивают более детализированной и своевременной информацией о потреблении электроэнергии, что обеспечивает их заинтересованность в участии DR.

Потребители имеют возможность сопоставлять их потребление и последствия при помощи использования следующих технологий: домашние мониторы потребления, веб-сайты, приложения, в которых имеются данные интеллектуального учета.

На поведение человека также оказывают влияние социальные нормы. Среднее потребление электроэнергии является социальной нормой в области потребления электроэнергии. Поставщики электроэнергии для стимулирования поведения, повышающего энергоэффективность, имеют возможность предоставлять потребителям информацию о поведении других потребителей, например их соседей, и, обычно, люди склонны делать то, что делают другие. Например, потребители с высоким объемом потребления получали отчеты с информацией об их объеме потребленной энергии и информацию о социальной норме. Последующие периоды активных потребителей с высоким объемом потребления будут характеризоваться снижением их потребления, что говорит об эффективности использования обратной связи.

При помощи геймификации – использовании игровых методов в неигровых процессах, например при помощи элементов компьютерных игр – можно заинтересовать потребителя и в последствии воздействовать на его поведение. Например, компания People Power внедрила продукт BDR 2.0 по поведенческому

управлению спросом. BDR 2.0 – это мобильное приложение, в котором активные потребители соревнуются со своими друзьями и им начисляются баллы за снижение потребления электроэнергии. Существуют программы, в которых задействован малый бизнес. Например, за участие в управлении спросом активные потребители вознаграждаются купонами на бесплатную пиццу, скидочными билетами в аквариум и так далее.

Программу поведенческого управления спросом можно представить следующим образом:

- потребители получают от энергетической компании письмо, в котором уведомляют о начале действия программы управления спросом, описывают последовательность действия, а также оповещают о последующей рассылке писем/сообщений.
- за сутки, до события, активным потребителям отправляется уведомление о предстоящей разгрузке в часы пикового потребления, где указывается информация, каким образом потребитель может снизить свое потребление электроэнергии во время события.
- перед наступлением события потребители получают уведомление о старте. Потребитель электрической энергии должен снизить свое потребление, относительно нормального потребления.
- активные потребители получают обратную связь в виде отчета по результатам, в котором их показатели сравниваются с показателями их соседей или других потребителей.

Отчеты, в которых содержатся результаты события управления спросом содержат следующую информацию:

- объем потребленной ими электроэнергии;
- рейтинг, который отображает какую позицию занимает потребитель в каждый период проведения события управления спросом;
- сравнительные показатели;
- рекомендации по увеличению объема разгрузки.

Преимуществом поведенческого управления спросом является отсутствие специального оборудования у потребителя электроэнергии. Важным условием для участия потребителей в таком событии является наличие интеллектуальных счётчиков. Такие счётчики характеризуются простотой внедрения. Несмотря на это существуют единичные примеры поведенческого управления спросом, где внедряется дополнительное оборудование для контроля нагрузки в момент события.

Выводы по разделу

В условиях интенсивного развития технологий в области повышения энергетической эффективности именно технология управления спросом на рынке электроэнергии вызывает интерес в странах всего мира: Европейском союзе, США, Китае, Японии, Канаде, Австралии, а также в Российской Федерации и в других странах.

На сегодняшний день гибкость в энергосистеме обеспечивается событиями управления спросом, которая будет развиваться в последующие года быстрыми темпами. Инновационная технология нацелена на активизацию потребителей для того, чтобы они имели возможность на основе баланса своих потребностей и возможностей электроэнергетической системы управлять объемом потребления электроэнергии. Управление спросом позволяет не только сократить расходы потребителей, но и играет роль в её удешевлении на оптовом рынке, повышению надёжности энергетической системы, снижению потребности в дополнительных генерирующих мощностях и, а также сокращению уровня выбросов CO₂.

На мировом рынке электроэнергии и мощности применяются различные программы управления спросом, которые подстраиваются под конкретный рынок, имеющие определенные характеристики и требования. Большой потенциал развития DR принадлежит розничным потребителям электроэнергии. В связи с этим активно запускаются пилотные проекты, которые доказывают свою эффективность. Все больше бытовых потребителей присоединяется к DR благодаря компаниям-агрегаторам, которые выступают посредниками между ними и оптовым рынком электроэнергии. Так как значительный потенциал управления спросом сосредоточен у потребителей розничного рынка необходимо вовлекать таких потребителей с помощью поведенческих стимулов. В связи с этим развивается такое направление как поведенческое управление спросом, которое настраивает коммуникацию с потребителями в режиме реального времени предоставляя им быструю обратную связь, используя социальные нормы, геймификацию, социальные сети и мессенджеры.

Для Российской Федерации вопрос энергетической эффективности является актуальным на сегодняшний день. Согласно опыту зарубежных стран одним из действующих и целесообразных способов повышения эффективности в области энергетики выступает механизм управления спросом на электроэнергию.

2. УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ В РОССИИ

Сегодня управления спросом на электроэнергию стал значимым и востребованным механизмом регулирования баланса спроса и предложения на рынке электроэнергии и мощности в мире, но в том числе в Российской Федерации. Россия идет по пути внедрения технологии управления спросом. Принято постановление Правительства Российской Федерации от 20 июля 2016 г. № 699 «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2011 №1172», в следствие чего в ЕЭС России был создан механизм управления спросом и получил название – ценозависимое снижение потребления электроэнергии (ЦЗСП) [14]. Данное постановление регулирует порядок участия потребителей рынка электроэнергии и мощности путем изменения спроса и предложения в определенные часы нагрузки, а также устанавливает ответственность за неисполнение обязательств субъектов, участвующих в механизме.

Единая энергетическая система России (ЕЭС) состоит из 7 объединенных энергетических систем: Центра, Северо-Запада, Сибири, Урала, Востока, Средней Волги, Юга. По данным АО «СО ЕЭС» на 1 января 2021 года общая установленная мощность электростанций ЕЭС России составила 245 313,25 МВт.

Начиная с 2017 г. в России начал функционировать и развиваться механизм ЦЗСП для субъектов оптового рынка электрической энергии. Но данный механизм не смог достичь ожидаемого эффекта из-за различных факторов, в основном в силу недостаточного количества участников. На оптовом рынке крупные компании уже имеют инструменты, которые позволяют оптимизировать затраты на покупку электроэнергии.

Для того, чтобы развить данный механизм в 2019 г. на рынке электроэнергии и мощности запустился пилотный проект по управлению спросом на электрическую энергию для розничных потребителей. Розничными потребителями выступают малые и средние предприятия, а также население. Необходимо создать возможность участия таких потребителей в оказании услуг проекта, так как они имеют технологические возможности, но не обладают достаточными знаниями и инструментами. В связи с этим 20 марта 2019 было утверждено постановление Правительства Российской Федерации №287 [15], где отражены правила действия нововведенного механизма управления спросом с участием агрегаторов управления спросом – организаций, объединяющих ресурсы розничных потребителей для

предоставления услуг по управлению спросом как нового вида услуг по обеспечению системной надежности [16].

Необходимо упомянуть энергетическую стратегию России до 2035 г., утвержденную распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р, в которой внедрение механизма ЦЗСП относится к комплексу ключевых мер, обеспечивающих решение задачи электроэнергетики. В ЕЭС России планируется следующий объем управления спросом:

- к 2025 г. – 4 ГВт;
- к 2035 г. – 6 ГВт.

2.1. Управление спросом на оптовом рынке электроэнергии

Потребители оптового рынка получили возможность добровольно участвовать в механизме ЦЗСП, а также получать за снижение нагрузки по сигналу от инфраструктуры оптового рынка оплату.

Механизм ЦЗСП функционирует в двух секторах оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ):

- Рынок электрической энергии на сутки вперед (РСВ);
- Конкурентный отбор мощности (КОМ).

При участии в ЦЗСП на РСВ потребителю выплачивается ежемесячная плата за каждый МВт разгрузки и за выполнение своих обязательств по договору. Разгрузка осуществляется в период высоких цен на рынке электроэнергии.

Рынок электроэнергии получает два эффекта от механизма:

- сокращение затрат на оплату услуг потребителей за готовность снизить потребление;
- снижение цен на РСВ и КОМ.

Годовая продолжительность пиковых цен на РСВ в совокупности составляет 50 часов. Длительность отдельных периодов пиковых цен редко превышает 4 часа, поэтому экономически нецелесообразно разгружать потребителей более чем на 4 часа. С учетом всех факторов участие в механизме ЦЗСП оплачивается в полном размере при условии готовности разгрузки потребителей на 4 часа подряд.

Потребители оптового рынка электроэнергии, участвующие в событии управления спросом подают заявки на участие в КОМ, где указывают прогнозируемый объем снижения потребления. То есть потребители обязуются обеспечить готовность энергопринимающего устройства к разгрузке и снизить потребление в определенный момент времени. Готовность потребителей исполнять свои обязательства по

разгрузке контролируется Системным оператором (СО). Проводятся тестирования до начала события управления спросом, фиксируются случаи невыполнения потребителем своих обязательств по снижению потребления, а также регистрируются случаи не поддержания готовности энергопринимающих устройств. Те покупатели, которые не прошли тестирование не получают оплату за снижение потребления. Те потребители, которые продают свои обязательства по разгрузке на КОМ, получают снижение оплаты мощности в объеме цены КОМ.

В обязанности Системного оператора входит контроль над механизмом ЦЗСП. Ключевое значение имеет количество событий управления спросом, так как большое количество разгрузок может принести неудобство потребителям, так как существуют технологические процессы, которые очень чувствительны к изменению режима потребления, а также другая сторона, малое количество разгрузок может не достичь ожидаемого экономического эффекта на рынке РСВ.

Потребитель, участвующий в механизме ЦЗСП, должен ежедневно в течение месяца:

- уведомлять СО о готовности участия в событии ЦЗСП;
- подавать на РСВ ценовую заявку на объем электроэнергии, превышающий объем покупки электрической энергии, который относится к ценозависимому снижению потребления.

В том случае если потребитель выполнил все требования, то фактический объем ЦЗСП мощности потребителя равен объему ЦЗСП мощности, который был определен в КОМ.

Для субъекта оптового рынка электроэнергии и мощности участие в механизме ценозависимого снижения потребления добровольное, но есть определенные ограничения.

- Гарантирующий поставщик не может принимать участие;
- Минимальное помесячное значение пикового потребления не должно составлять менее 5 МВт;
- Пиковое потребление должно составлять не менее 25 МВт;
- Объем мощности не должен быть менее 2 МВт;
- Готовность к разгрузке в пиковые часы потребления электроэнергии.
- Обеспечение системной надежности.

2.1.1. Порядок проведения отбора агрегаторов управления спросом

Согласно п. 6 постановления Правительства от 3 марта 2010 г. N 117 «О порядке отбора субъектов электроэнергетики и потребителей

электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности, и оказания таких услуг», СО осуществляет конкурентный отбор субъектов электроэнергетики оказывающих услуги по управлению спросом на электроэнергию. Конкурсный отбор проводится не реже 1 раза в 6 месяцев и проводится в 4 этапа (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Основные этапы отбора субъектов электроэнергетики

Этап	Процедуры
1 этап Подготовка	Для участника – регистрация, подготовка и загрузка необходимых документов на электронную торговую площадку АО «СО ЕЭС». Для СО – установление основных параметров и условий отбора; утверждение формы договора; публикация извещения о проведении конкурентного отбора (10 дней).
2 этап Заявка	Для участника – в определенные сроки подачи ценовых заявок участники отправляют заявку СО на участие в отборе. В заявке потребитель должен указать ключевые параметры: период времени, когда покупатель будет готов к снижению потребления электроэнергии, величину снижения объема покупки электрической энергии, цену оказания услуг.
3 этап Отбор	Для СО – рассмотрение всех поданных заявок и распределение их по ценовым зонам (1 и 2 ЦЗ) и проверка достоверности сведений (1-4 дня). Заявки принимаются в том случае, если совокупный объем ценозависимого потребления мощности не составляет более 1% объема спроса на мощность в конкретной ценовой зоне. Важной процедурой отбора является оценка и сопоставление ценовых заявок с критериями отбора и участников отбора между собой (10 дней). СО определяет победителей отбора (3 дня).
4 этап Результаты	В итоге заключается договор оказания услуг по управлению спросом на электрическую энергию между Системным оператором и субъектами электроэнергетики в течение 20 дней. Результаты конкурентного отбора публикуются на электронной торговой площадке АО «СО ЕЭС». После подписания договора участник становится агрегатором управления спросом.

Ценовая заявка участника механизма ЦЗСП должна содержать количество часов, когда покупатель будет готов к ценозависимому снижению потребления электроэнергии (2 или 4 часа); величину снижения объема покупки электрической энергии, которая должна составлять не менее 2 МВт*ч. Оплата услуг по механизму ЦЗСП осуществляется по ценам, которые указаны участником конкурентного отбора в ценовых заявках, отобранных по итогам процедуры сопоставления и оценок.

Для потребителей с ценозависимым потреблением на оптовом рынке существовали три программы участия, но в связи с принятием в 2019 г. постановления Правительства от 20 марта 2019 №287 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности потребителями электрической энергии», утвердились две программы участия, которые отражены в таблице 4:

Таблица 4 – Программы участия потребителей в механизме ЦЗСП

Период	Оплата мощности	Длительность разгрузки	Частота
1	2	3	4
2016	100%	8 часов подряд	10 раз в месяц
	50%	4 часа подряд	10 раз в месяц
	25%	2 часа подряд	10 раз в месяц
2019	100%	4 часа подряд	1-5 раз в месяц
	50%	2 часа подряд	1-5 раз в месяц

Участник ЦЗСП, который готов отказаться от определенного объема потребления электрической энергии в определенные часы вправе рассчитывать на ежемесячные выплаты за каждый МВт разгрузки. С одной стороны рынок электроэнергии и мощности несет дополнительные затраты на услуги потребителей, с другой стороны получает эффект снижения цен.

На оптовом рынке электроэнергии существует система коммерческого учета, которая используется для определения объема потребления электроэнергии энергопринимающим устройством, то есть для проверки успешного исполнения технологии управления спросом. Успешное исполнение ЦЗСП осуществляется если фактическое потребление электроэнергии не превышает плановый почасовой график, который сформирован с учетом требуемого объема снижения. В случае, когда фактическое потребление электрической энергии выше

планового, то обязательство потребителя считается неисполненным.

2.1.2. Интеллектуальные приборы учета электроэнергии

Для определения объема снижения потребления используются показания приборов учета. Существуют разные типы приборов учета, поэтому они должны быть утверждены федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию и метрологии. Обязательное условие приборов учета – они должны быть внесены в государственный реестр средств измерений.

Подтверждение результатов измерений производится следующими способами:

- дистанционный доступ к прибору учета;
- доступ к приборам учета для проверки их состояния, при этом снятие показаний приборов учета должно осуществляться не реже чем 1 раз в месяц;
- участие третьей стороны для получения показаний приборов учета;
- предоставление заверенной копии акта снятия почасовых показаний приборов учета или акта учета электроэнергии по итогам анализируемого месяца. Данный способ является основным.

В 2017 г. в событии управления спросом было отобрано 4 участника оптового рынка. Было ограничение: ежемесячно максимальное количество разгрузок не должно превышать 2-х. Суммарная величина ценозависимого снижения объема покупки электроэнергии составила 69 МВт*ч, а ценозависимого снижения потребления мощности (с учетом количества часов снижения) – 59 МВт [17]. В первый год реализации механизма ЦЗСП экономический эффект оказался незначительным из-за малого количества участников и небольшого числа разгрузок.

Было решено для привлечения большего числа потребителей повысить финансовый стимул и привлечь потребителей розничного рынка электроэнергии. Потребителями розничного рынка выступают средние и малые потребители электроэнергии, а также население.

2.2. Управление спросом на розничном рынке электроэнергии

Для того, чтобы обеспечить надежную работу электроэнергетической системы необходимо обеспечить идеальный баланс между спросом и предложением в режиме реального времени. Только обеспечить данный баланс нелегко, учитывая особенности

электроэнергии как товара, а именно: одновременное производство и потребление, невозможность создания резервов и товаров-субститутов. В перспективе ключевым инструментом поддержания и регулирования баланса спроса и предложения электроэнергии выступает управление спросом розничных потребителей.

Розничные потребители – потребители электроэнергии, которые имеют техническую возможность снижать потребление и перераспределять его в течение суток в определенный момент времени. Такие потребители добровольно могут принять участие в механизме ЦЗСП и в обмен получить стимулирующие выплаты.

Розничные потребители, чья нагрузка может быть «сдвинута» во времени или краткосрочно снижена, либо график потребления может быть смещен на периоды более низких цен (внепиковый период), могут внести огромный вклад в механизм ЦЗСП. А также сегодня происходит активное внедрение инновационных технологий у розничных потребителей, таких как интернет-вещей, умный дом и др., обеспечивающих простоту участия в управлении спросом.

Существуют барьеры участия розничных потребителей в механизме управления спросом:

- потребители не имеют компетенций, которые необходимы для функционирования на рынке электроэнергии;
- отсутствие опорных технологий;
- недоступна система контроля, которая необходима для исполнения обязательств по разгрузке;
- существует проблема организации взаимодействия с оптовым рынком.

Для развития механизма управления спросом и вовлечения розничных потребителей в него, были совершены следующие действия:

- запуск пилотного проекта по управлению спросом с участием розничных потребителей, агрегаторов и Системного оператора;
- усиление мотивации и повышение информированности розничных потребителей на участие в технологии ЦЗСП и энергоэффективности.

Целью пилотного проекта выступает отработка технологии управления спросом для последующей доработки и успешного его запуска.

В качестве оборудования, которое могут выступать ресурсом снижения потребления, можно выделить следующие:

- системы кондиционирования;
- электрические водонагреватели;
- холодильное оборудование;

- насосное оборудование;
- освещение;
- системы вентиляции;
- электротранспорт;
- накопители энергии (батареи аккумуляторов);
- стиральные и сушильные машины.

Для обеспечения доступа розничных потребителей к деятельности по управлению спросом функционируют специальные организации – агрегаторы управления спросом.

Агрегаторы – организации, энергосбытовые компании, включая гарантирующих поставщиков, которые представляют розничных потребителей на оптовом рынке электроэнергии. Агрегаторы управления спросом приобретают услуги у бытовых, промышленных, коммерческих потребителей по уменьшению нагрузки и поставляют (продают) их на оптовый рынок как единый товар. По сути, агрегаторы являются связующим звеном между розничным и оптовым рынком электроэнергии и мощности. Агрегаторы обеспечивают участие розничных потребителей на рынке.

Компания-агрегатор:

- Занимается поиском потребителей, которым устанавливается специальное оборудование, счетчиков и систем учёта, при помощи которого можно изменять потребление, без ущерба для производства;
- Оценивает возможности активного потребителя для разгрузки;
- Обеспечивает потребителей необходимыми приборами для автоматизации процесса;
- Заключает договор оказания услуг по изменению нагрузки с розничными потребителями, в котором указано определенное количество разгрузок и их период времени;
- Заключает договор оказания услуг по обеспечению системной надежности с Системным оператором;
- Обязуется уведомлять активных потребителей об изменении объема потребления в определенный момент времени при помощи уведомлений на электронную почту, сообщений, телефонного звонка, сигнала в систему управления прибором и другими возможными способами;
- Контролирует исполнение обязательств со стороны потребителей.

Системный оператор проводит конкурентный отбор агрегаторов, закупает услуги агрегаторов по управлению спросом,

оплачивает их, транслирует результат действий агрегаторов на оптовый рынок. Агрегатор перед Системным оператором обязуется обеспечивать системную надежность, в то время как потребитель имеет обязательство перед агрегатором обеспечить определенный объем разгрузки и получает за это оплату.

Для потребителя участие в механизме ЦЗСП является добровольным. Если он выбрал агрегатора управления спросом и в следствие заключил с ним договор оказания услуг, то потребитель обязуется исполнять запросы агрегатора в определенное время по снижению потребления. За участие в такой программе розничный потребитель получает изменение (уменьшение) цены на электроэнергию или стимулирующие выплаты.

В результате розничный потребитель имеет возможность оказывать влияние на пиковые цены на электроэнергию. В перспективе это возможно приведет к снижению издержек на развитие всей энергетической инфраструктуры.

Договор оказания услуг действителен в течение 3 месяцев и имеет определенные параметры, такие как:

- количество событий управления спросом должно составлять от 1 до 5 в месяц;
- длительность периода снижения потребления должна составлять 2 или 4 часа подряд;
- потребитель (агрегатор) сам устанавливает объем снижения потребления электроэнергии.

2.2.1. Методы контроля исполнения обязательств розничного потребителя

Система контроля исполнения обязательств (снижения потребления) в механизме управления спросом потребителями розничного рынка основана на сравнении базового графика потребления, который сформирован математическими методами. Данные методы включены в договор оказания услуг. Различают следующие методы контроля [18]:

- график базовой нагрузки;
- максимальная базовая нагрузка;
- метод заявленного графика нагрузки.

Рассмотрим подробнее каждый метод контроля исполнения обязательств розничного потребителя.

График базовой нагрузки, названный «метод 10 из 10» – является базовым методом расчета объема снижения потребления. Данный метод представляет собой прогноз потребления, который

базируется на информации о потреблении за предыдущий период. Проводятся исследования 10-ти рабочих дней, в которые мероприятия по управлению спросом не проводились. Объем снижения потребления определяется как разность между графиком базовой нагрузки и объемом потребления электроэнергии энергопринимающего устройства.

Точность графика базовой нагрузки можно определить, сравнивая его с графиком фактического потребления в дни, когда мероприятия, связанные с ЦЗСП, не проводились. В договоре используются следующие характеристики точности:

- RMSE (root mean squared error) – среднеквадратическое отклонение графика базовой нагрузки от потребления электроэнергии.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum e_t^2}{n}} \quad (1)$$

где e_t – абсолютное отклонение графиков базовой нагрузки;
 t – час.

- RRMSE (relative root mean squared error) – относительное среднеквадратическое отклонение, не должно превышать 20% от среднего потребления ($RRMSE \leq 0,2$)

$$RRMSE = \frac{RMSE}{C} \quad (2)$$

где C – среднее потребление за период.

Вычисления RMSE и RRMSE проводятся для совокупности часов, которые соответствуют плановым часам пиковой нагрузки Системного оператора на определенную дату, когда формируется график базовой нагрузки.

Для того, чтобы принять решение о применении метода графика базовой нагрузки для определения объема разгрузки, должны быть выполнены два условия:

- RRMSE для рассматриваемых часов не должно превышать 0,2;
- удвоенное RMSE не превышает величину индикативного объема снижения потребления энергопринимающего устройства.

Минимальное значение объема разгрузки должно составлять не менее двойной величины среднеквадратического отклонения ошибки:

$$V_{min} = 2 * RMSE \quad (3)$$

где V_{min} – минимальное значение объема разгрузки.

Метод графика базовой нагрузки подходит значительному количеству розничных потребителей и характеризуется простотой расчета, что важно потребителям.

При невыполнении первого условия, где RRMSE превышает значение 0,2, необходимо использовать метод *максимальной базовой нагрузки*. Максимальная базовая нагрузка – метод, при котором нагрузка потребителя должна держаться ниже максимальной базовой нагрузки во время мероприятий по управлению спросом. Значения максимальной базовой нагрузки устанавливаются для каждого часа. Объем снижения потребления определяется как разница между условной максимальной нагрузкой и максимальной базовой нагрузкой. Данный метод подходит для использования потребителями с переменным графиком нагрузки при стабильном суточном потреблении.

Заявленный график нагрузки. Данный метод основан на самостоятельном прогнозировании потребления электроэнергии, поэтому необходимо контролировать график для того, чтобы препятствовать манипулированию со стороны участников. Объем снижения потребления рассчитывается как разность между заявленным графиком нагрузки и объемом потребления электроэнергии энергопринимающего устройства.

Метод заявленного графика нагрузки подходит малому количеству розничных потребителей. Подходит только тем, кто способен прогнозировать собственное потребление. Для того, чтобы обеспечить корректный контроль соблюдения заявленного графика, предлагается устанавливать график нагрузки таким образом, чтобы фактическая нагрузка всегда была выше заявленного графика.

Система контроля исполнения обязательств не содержит сложных математических моделей, так как для целевой аудитории – потребителей розничного рынка – важна простота и воспроизводимость результатов расчетов.

2.2.2. Стоимость оказанных услуг по управлению спросом

Электроэнергетический рынок России является рынком монопольного типа и ее деятельность регулируется государством. В связи с этим, объем средств для оплаты нового вида системных услуг

определяет Федеральная антимонопольная служба (ФАС) России. Согласно договору оказания услуг по управлению спросом на электрическую энергию стоимость оказанных услуг по управлению спросом рассчитывается для каждого объекта управления (см. формула 4), где объект управления – это совокупность энергопринимающих устройств розничных потребителей, которые участвуют в групповом управлении изменении нагрузки, которых представляет агрегатор в качестве единого объекта.

$$S = Ц * V_{\text{факт}} \quad (4)$$

где S – стоимость оказанных услуг по управлению спросом за расчетный период, руб.;

$Ц$ – цена услуг по управлению спросом за расчетный период, руб./МВт в мес.;

$V_{\text{факт}}$ – объем оказанных услуг по управлению спросом за расчетный период, МВт.

Цена услуг по управлению спросом устанавливается по результатам конкурентного отбора субъектов электроэнергетики.

Объем оказанных услуг по управлению спросом рассчитывается по следующей формуле:

$$V_{\text{факт}} = k_{\text{гот}} * k_{\text{факт}} * V_{\text{план}} \quad (5)$$

где $k_{\text{гот}}$ – коэффициент готовности объекта управления к снижению потребления в расчетном периоде;

$k_{\text{факт}}$ – коэффициент подтверждения объема снижения потребления по объекту управления;

$V_{\text{план}}$ – плановый объем оказания услуг по управлению спросом, МВт.

В том случае, если потребитель не готов снизить потребление в расчетный период, когда проводились события управления спросом, то $k_{\text{факт}} = 0$.

До проведения события управления спросом определяется плановый объем оказания услуг по управлению спросом в отношении объекта управления:

$$V_{\text{план}} = k_{\text{длит}} * P_{\text{п}} \quad (6)$$

где $k_{\text{длит}}$ – коэффициент учета длительности снижения потребления, который зависит от длительности периода снижения потребления: при разгрузке на 2 часа в сутки – 0,5; на 4 часа в сутки – 1;

$R_{п}$ – объем снижения потребления объекта управления, МВт.

Оплате подлежит только фактически оказанный объем услуг по управлению спросом.

2.2.3. Результаты пилотного проекта по созданию агрегаторов управления спросом

Востребованность механизма ЦЗСП можно охарактеризовать следующими результатами за 2020 г.:

- в пилотном проекте приняли участие 70 компаний-агрегаторов;
- были задействованы 51 регион РФ (см. таблицу 5 и таблицу 6);
- в пилотном проекте приняли участие международные, российские государственные и частные компании.

Таблица 5 – Участники управления спросом на электроэнергию в 1 ЦЗ ОРЭМ в 2020 г. (распределение по субъектам Российской Федерации)

1-ая ценовая зона (Европейской части России и Урала)		
Субъект	Агрегатор	Потребитель
1	2	3
Тюменская обл.	6	7
Санкт-Петербург	6	8
Московская обл.	5	13
Ленинградская обл.	5	8
Свердловская обл.	5	6
Республика Башкортостан	4	5
Владимирская обл.	4	5
ХМАО-Югра	4	5
Калужская обл.	4	4
Челябинская обл.	3	5
Москва	3	4
Республика Татарстан	3	4
Удмуртская Республика	2	5
Белгородская обл.	2	4
Оренбургская обл.	2	3
Липецкая обл.	2	2
Новгородская обл.	2	2
Пермский край	2	2
Самарская обл.	2	2
Ульяновская обл.	2	2

Окончание таблицы 5

Псковская обл.	1	3
Волгоградская обл.	1	2
Ивановская обл.	1	2
Кировская обл.	1	2
Мурманская обл.	1	2
Смоленская обл.	1	2
Астраханская обл.	1	1
Брянская обл.	1	1
Воронежская обл.	1	1
Иркутская обл.	1	1
Краснодарский край	1	1
Красноярский край	1	1
Курская обл.	1	1
Нижегородская обл.	1	1
Орловская обл.	1	1
Республика Адыгея	1	1
Ростовская обл.	1	1
Рязанская обл.	1	1
Саратовская обл.	1	1
Ставропольский край	1	1
Тамбовская обл.	1	1
Тульская обл.	1	1
ЯНАО	1	1
Ярославская обл.	1	1

По числу компаний-агрегаторов и потребителей в 1-ой ценовой зоне лидирует Тюменская область, Санкт-Петербург, Московская и Ленинградская области. Такой рейтинг отраслей обусловлен бурным развитием следующего вида экономической деятельности – промышленностью. За последние 5 лет промышленность данных областей характеризуется ежегодным ростом. Именно промышленные предприятия являются основными потребителями электроэнергии и установленное оборудование с высокой энергоемкостью. Поэтому именно данная категория потребителей имеет возможность эффективного участия в управлении спросом. При этом у промышленных предприятий есть возможность ценозависимого управления затратами по трем компонентам: стоимость электроэнергии, оплата мощности и услуг по передаче. В предприятиях данной отрасли экономический эффект от применения ЦЗСП может

составлять 3-45% затрат. Примерами компаний участвующих в ЦЗСП в роли потребителей в 1-ой ЦЗ можно выделить: Лукойл-АИК №1 (г. Тюмень), Турбоатомгаз (г. Санкт-Петербург), Гавриловское карьероуправление (Ленинградская обл.), РН-Юганскнефтегаз (Московская обл.).

Таблица 6 – Участники управления спросом на электроэнергию во 2 ЦЗ ОРЭМ в 2020 г. (распределение по субъектам Российской Федерации)

2-ая ценовая зона (Сибирь)		
Субъект	Агрегатор	Потребитель
Новосибирская обл.	3	6
Кемеровская обл.	3	4
Иркутская обл.	3	3
Красноярский край	2	2
Республика Хакасия	2	2
Алтайский край	1	5
Омская обл.	1	1

Во 2-ой ценовой зоне применение механизма ЦЗСП не так развито, как в 1-ой. Наибольшее количество компаний-агрегаторов и потребителей участвующих в управлении спросом расположены в Новосибирской, Кемеровской, Иркутской областях. Данные регионы являются крупными промышленными регионами России с высоким экономическим потенциалом. В Новосибирской области в основном доминируют обрабатывающие отрасли (машиностроение и металлообработка), доля электропотребления которых в общем энергобалансе составляет около 33%. Кемеровская область представлена крупными заводами угольной промышленности и металлургии. Основу промышленного комплекса Иркутской области составляют: цветная металлургия, лесная, деревообрабатывающая, машиностроение и металлообработка. Во всех вышеперечисленных отраслях промышленности функционируют предприятия, которые характеризуются наличием устаревшего энергоемкого оборудования. Поэтому внедрение ЦЗСП в данную отрасль целесообразно. Примерами компаний участвующих в ЦЗСП в роли потребителей во 2-ой ЦЗ можно выделить: Главновосибирскстрой (Новосибирская обл.), Евраз Ванадий Тула (Кемеровская обл.), ГК Старатель (Иркутская обл.).

Во 2-ой ценовой зоне необходимо повышать энергетическую эффективность в связи с тем, что данный регион характеризуется суровыми климатическими условиями, что обуславливает значительные затраты на отопительные нужды. Большую роль играет

географический фактор, который подразумевает наличие больших расстояний, что тем самым увеличивает расход энергоресурсов в процессе транспортировки.

В качестве энергетических компаний-агрегаторов и крупных компаний-потребителей управления спросом выступали организации, рассмотренные в таблице 7.

Таблица 7 – Компании, принимающие участие в пилотном проекте управления спросом

Субъекты	Компании	
Агрегаторы	Росатом, Интер РАО, Газпром, Enel, Фортум, Русэнергосбыт	
Потребители	Международные	Nokian Tyres, AB InBev, Hochland, Linde Gas, Air Liquide, Heineken, HeidelbergCement, Praxair, LafargeHolcim, Huhtamaki
	Государственные	Транснефть, КАМАЗ, Росатом, Роснефть, Газпром, Ростех
	Частные	Магнит, МегаФон, , НЛМК, Уралкалий, Евроцемент ГРУП, Лукойл, Евраз

Согласно таблице 7 основных потребителей, которые участвуют в механизме ЦЗСП можно отнести к следующим отраслям: транспортировка нефти; производство цемента, асфальта; автомобилестроение; химическое производство; дата-центры; металлургия; добыча нефти; сельское хозяйство; машиностроение; химическое производство. Агрегаторами в основном выступают электросбытовые компании и гарантирующие поставщики.

На период 2019-2020 гг. был утверждён пилотный проект управления спросом с участием агрегаторов, который был в последствии продлен до 2021 г., в связи с его успешной реализацией (см. таблицу 8). В 2019-2020 гг. объем участия розничных потребителей увеличился более чем в 18 раз — с 50 МВт до 910 МВт, в то время как в 2021 г. прогнозируется объем ресурсов управления спросом в размере 1866 МВт. Объем участия розничных потребителей в проекте ограничен, если во 2 периоде объем составлял 0,5% от спроса на мощность, то в последнем периоде – 1% от спроса на мощность, что характеризует увеличение спроса со стороны потребителей на механизм ЦЗСП. Под действием конкуренции реальные цены складываются

существенно ниже предельных цен.

Таблица 8 – Целевые параметры пилотного проекта по вовлечению розничных потребителей

Период, год	Нормативные документы	Объем участия розничных потребителей, МВт	Предельная цена, тыс. руб. за МВт в мес.	
			1 ЦЗ	2 ЦЗ
2019	Постановление Правительства от 20 марта 2019 № 287	50	860	693
2020	Постановление Правительства от 20 марта 2019 № 287	910	895	695
2021	Постановление Правительства от 8 февраля 2021 № 132	1866	917	762

По данным таблиц можем сделать вывод, что благодаря пилотному проекту по созданию и развитию агрегаторов управления спросом удалось сформировать интерес к механизму ЦЗСП у агрегаторов и потребителей. Были вовлечены потребители с различными технологическими циклами и подходами к разгрузке. Было решено продолжить реализацию пилотного проекта в 2021 г.

По последним данным конкурентного отбора субъектов (агрегаторов) электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию в период с апреля по июнь 2021 года, сформирована ознакомительная таблица 9 [19]. В таблице указаны:

- перечень агрегаторов и потребителей розничного рынка электроэнергии, прошедших конкурентный отбор, которые будут оказывать услуги по управлению спросом на электрическую энергию;
- объемы и длительность оказания услуг по управлению спросом на электроэнергию;

- цены на услуги по управлению спросом на электрическую энергию за 1 МВт в месяц в отношении каждого субъекта электроэнергетики и потребителя электрической энергии.

Таблица 9 – Состав субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии в период с апреля по июнь 2021 год

№	Наименование субъекта электроэнергетики	Наименование объекта агрегированного управления спросом	Потребитель/ энергопринимающее устройство	Объем снижения потребления, МВт	Длительность снижения потребления, час	Цена оказания услуг, руб./МВт в мес.
1	2	3	4	5	6	7
1	АО «Петербургская сбытовая компания», Санкт-Петербург	Петербургская сбытовая компания №4	Питер-Лада	0,100	2	258 000
		Петербургская сбытовая компания №9	Завод Электросила	2,700	4	269 999
2	АО «АПБЭ», Москва	АПБЭ №1	Агро-Инвест	45,000	4	294 800
3	АО «Газпром энергосбыт», Москва	Газпром энергосбыт №3	Газпром трансгаз Югорск	2,000	4	290 000
4	ООО «ЛУКОЙЛЭНЕРГО СЕРВИС», Москва	ЛУКОЙЛЭНЕРГОС ЕРВИС №13	Царицынский комбинат	0,700	4	240 000
		ЛУКОЙЛЭНЕРГОС ЕРВИС №8	ВОЛМА-Оренбург	0,300	2	240 000
5	ООО «Уралэнергосбыт», Челябинск	Уралэнергосбыт №8	Ледовый дворец	0,200	4	230 000

Окончание таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
6	АО «Газпром энергосбыт Тюмень», Сургут	Газпром энергосбыт Тюмень №2	ЛУКОЙЛ-АИК №2	1,500	4	305 000
7	ООО "Инженерные изыскания", Череповец	Инженерные изыскания №1	Завод Реостат	0,260	4	269 999
8	ПАО «Мосэнерго», Москва	Мосэнерго №1	НПП «Нефтехимия»	0,200	4	285 000
9	ООО «РУСЭНЕРГОСБЫТ», Москва	РУСЭНЕРГОСБЫТ №1	КАМАЗ	32,000	4	259 000
		РУСЭНЕРГОСБЫТ №16	Липецкцемент	1,800	4	259 000
10	ПАО «Саратовэнерго», Саратов	Саратовэнерго №1	Завод силикатных материалов	0,070	4	200 000
11	ООО «ССК», Вологда	ССК №1	ТРК Мармелад	0,150	2	309 000
12	ООО «Энергокомпания «Фарадей», Москва	Фарадей №2	Битривер Рус (цех №2)	14,000	4	494 890
13	ООО «Комплексные энергосервисные технологии», Москва	КЭТ №6	Пороховой завод	1,500	4	284 000

Были выявлены ключевые проблемы, которые сдерживают дальнейшее развитие механизма ЦЗСП для потребителей розничного рынка:

1. Данные учета электрической энергии невозможно получить в сроки и в необходимом для участия потребителей в проекте объеме. Это происходит из-за отказов собственников в предоставлении данных приборов учета электроэнергии, в том числе из-за отказов подписании актов снятия показаний.
2. Законодательно не существует обязанности у электросетевых компаний и гарантирующих поставщиков электроэнергии по установке интеллектуальных приборов учета для потребителей участвующих в пилотном проекте.
3. У электросетевых компаний отсутствуют стимулы для участия в пилотном проекте из-за потенциальных расходов, связанных с выполнением ими дополнительных обязанностей по сбору, обработке и передаче данных коммерческого учета потребителей.

В целях устранения вышеуказанных барьеров и дальнейшего развития механизма ЦЗСП разрабатываются решения и предложения для последующих изменений механизма управления спросом, которые будут предусматривать использование технологии на постоянной основе.

Выводы по разделу

Механизм управления спросом широко развивается в ЕЭС России. В РФ имеется значительный потенциал для развития технологии ЦЗСП. Данный механизм начал развиваться на оптовом рынке электроэнергии и мощности, позже в связи с ограниченными ресурсам оптового рынка, было решено вовлекать в управление спросом потребителей розничного рынка. Были созданы специализированные организации – агрегаторы, которые обеспечили участие розничных потребителей в быстроразвивающейся технологии.

В 2019 г. было запущен пилотный проект по созданию агрегаторов управления спросом, который впоследствии был реализован успешно и был продлен. В пилотном проекте приняли участие 51 регион России, 70 компаний-агрегаторов, около 160-ти промышленных потребителей, среди которых международные и российские компании. Именно существенная доля промышленных потребителей в структуре национального потребления электроэнергии обуславливают внедрение механизма ЦЗСП в стране.

Особенностью применения ЦЗСП в промышленных предприятиях является наличие возможности сокращения затрат на

потребление электроэнергии, которые включают три компонента (затраты на оплату электроэнергии, электрической мощности и услуг по передаче электроэнергии), при этом не снижая объемы суточного потребления. Затраты на оплату каждого компонента зависят от графика нагрузки промышленного предприятия и совокупного спроса на электроэнергию энергосистемы в целом. То есть благодаря управлению спросом у предприятий будет возможность смещать пики собственных энергетических нагрузок на часы, не попадающие в периоды плановых часов пиковой нагрузки (период высоких цен), и на час максимума региональной энергосистемы, тем самым достигая экономического эффекта – экономии. Необходимо отметить, что величина экономии промышленного предприятия будет зависеть от специфики ее деятельности, структуры и объемов электропотребления, наличием энергоёмкого оборудования, масштабом производства и т.д.

Пилотный проект по управлению спросом с участием розничных потребителей, агрегаторов, проводимый в 2019-2020 гг. в России, полностью соответствует глобальной тенденции цифровизации энергетической отрасли. Данный проект привел к переходу к интеллектуальной энергетике и внедрению цифровых технологий, которые позволили создать новые сервисы, услуги взаимодействия потребителей и других участников электроэнергетики.

Для детального анализа экономического эффекта от применения ЦЗСП на промышленном предприятии перейдем к расчетам.

3. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕНОЗАВИСИМОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Повышение энергоэффективности и энергосбережения является основным приоритетом в стратегическом развитии Российской Федерации. Россия характеризуется низкой энергоэффективностью в энергетике в связи с высокой волатильностью спроса на электроэнергию, что связано с географическим расположением страны. Для решения данной энергетической, экономической и экологической проблемы проводятся мероприятия по повышению энергоэффективности, находящиеся в ведении Минэкономразвития России. В многих странах для повышения энергоэффективности активно используется механизм управления спросом на электроэнергию. В России с 2016 г. разрабатывается проект, получивший название «ценозависимое потребление», который стимулирует потребителей рынка электроэнергии участвовать в регулировании спроса на электроэнергию, тем самым повышать энергоэффективность.

79 субъектов России утвердили региональные программы энергоэффективности и энергосбережения, в число которых вошел Санкт-Петербург. В Санкт-Петербурге предпринимаются первые шаги по стимулированию потребителей в повышении энергоэффективности. Была утверждена региональная программа в области повышения энергетической эффективности на 2015-2020 гг. [20], которая подразумевала применение технологии управления спросом.

Рассмотрим динамику потребления электрической энергии и максимума потребления мощности в энергосистеме Санкт-Петербурга за 2015-2019 гг. (см. таблицу 10).

Таблица 10 – Энергопотребление в Санкт-Петербурге в период 2015-2019 гг.

Период	2015	2016	2017	2018	2019
Электропотребление, млн. кВт*ч	25 780	26 759	28 204	28 466	26 966
Максимум нагрузки, МВт	4 071	4 283	4 183	4 374	4 011

С 2015-2018 гг. потребление электроэнергии стабильно увеличивается, а то время как 2019 г. характеризуется снижением энергопотребления. Одним из основных факторов, влияющих на его снижение, можно выделить температурный фактор. В 2019 году было

зафиксировано превышение среднегодовой температуры наружного воздуха. Средняя годовая температура воздуха в Санкт-Петербурге в 2019 г. была выше, чем в 2018 г. и составила +4,4°С. Зима характеризовалась теплой погодой, поэтому энергопотребление соответственно уменьшилось. Средняя температура воздуха летом была комфортной около 20°С, что не всегда предполагало применения систем кондиционирования и вентиляции. Необходимо отметить, что в зависимости от выработки электроэнергии изменялось как в отрицательную сторону, так и в положительную потребление электроэнергии электростанциями города.

Рассмотрим структуру электропотребления для полного понимания направлений распределения электрической энергии в Санкт-Петербурге (см. таблицу 11).

Таблица 11 – Структура электропотребления по видам экономической деятельности на территории Санкт-Петербурга за 2015-2019 гг.

	Показатель	2015	2016	2017	2018	2019
1	2	3	4	5	6	7
1.	Электропотребление всего, %, в том числе:	100	100	100	100	100
1.1	добыча полезных ископаемых, промышленные потребители, %	24,48	24,12	30,77	30,59	30,32
1.2	сельское хозяйство, %	0,29	0,28	0,22	0,23	0,2
1.3	строительство, %	2,32	3,45	3,72	3,61	3,87
1.4	торговля оптовая и розничная, %	3,41	3,13	2,85	3,12	3,15
1.5	транспорт, %	5,72	6,39	6,43	6,6	7,23
1.6	деятельность в области информации и связи, %	20,26	18,32	0,8	0,91	0,8
1.7	другие виды экономической деятельности, %	19,01	19,05	23,9	24,31	24,26
1.8	городское и сельское население, %	12,93	12,5	18,75	18,5	17,74

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7
1.9	потери в электросетях, %	11,58	12,76	12,56	12,13	12,43

Вышеуказанные данные приведены в соответствии с информацией опубликованной на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики (электробаланс Российской Федерации) [21].

Согласно таблице 11 наибольший удельный вес электропотребления с 2015–2019 гг. по видам экономической деятельности ежегодно увеличивается и составляет добыча полезных ископаемых и промышленные потребители, в 2019 г. 30,32%. Такую структуру потребления электроэнергии можно объяснить тем, что в Санкт-Петербурге расположены крупные промышленные предприятия, заводы отечественные (Адмиралтейские верфи, Кировский завод, Балтика, Невская косметика), международные (Hyundai Motor Manufacturing Rus, Unilever, Nissan Manufacturing Rus, Procter & Gamble).

Наименьший удельный вес принадлежит сельскому хозяйству, в 2019 г. 0,2%, при этом ежегодно потребление электроэнергии в данной отрасли с 2015–2019 гг. сокращается. Такое явление происходит в связи с сокращением доли сельскохозяйственных предприятий. Данный вид экономической деятельности не распространен в Санкт-Петербурге, но сельское хозяйство динамично развивается на территории Ленинградской области.

В инновационном механизме ЦЗСП в основном принимают участие компании, с высокой долей потребления электроэнергии из-за применения энергоемкого оборудования. Именно промышленные потребители являются наиболее энергоемкой группой потребителей электроэнергии. Так как в Санкт-Петербурге расположены много промышленных предприятий, при этом они потребляют основную долю электроэнергии в городе, к анализу предлагается один из крупнейших заводов в Санкт-Петербурге «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус».

ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» (ХММР) – российский автомобилестроительный завод, принадлежащий южнокорейской компании Hyundai. Завод расположен в Санкт-Петербурге. ХММР является вторым по объему производства автомобильный завод в Российской Федерации. В 2020 г. с конвейера завода было выпущено почти 220 тыс. автомобилей. Необходимо учитывать то, что по итогам года объемы производства сократились на 10%, в связи с пандемией, которая пришлась на второй квартал, когда

завод функционировал не на полную мощность и были закрыты дилерские центры.

ХММР включает 4 цеха: цех сборки готового автомобиля, цех сварки кузова, цех штамповки кузовных панелей, цех окраски. Завод оснащен высокотехнологичным, цифровым оборудованием. Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус имеет 230 промышленных роботов, которые автоматизируют производственные процессы.

Для обеспечения непрерывного производства необходимо потребление заводом большого количество электроэнергии. В таблице 12 рассмотрим динамику потребления электроэнергии ХММР за 2015-2019 гг. Основными факторами, определяющими расход электроэнергии, являются почасовые объемы загрузки основных производственных линий.

Таблица 12 – Потребление электроэнергии ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» в период 2015-2019 гг.

Период	2015	2016	2017	2018	2019
Электропотребление, млн. кВт*ч	67,3	69,0	72,0	74,0	74,1
Максимум нагрузки, МВт	20,0	21,0	22,0	23,0	23,0

Потребление электрической энергии данной компании увеличивается ежегодно, что говорит о наращивании производства и об увеличении спроса на продукцию, наличии энергоемкого оборудования. Объем потребления электрической энергии имеет зависимость от производственной мощности и размера завода, вида реализуемой продукции, характера технологических процессов и т.д.

3.1. Определение объема затрат на электроэнергию до и после применения механизма ЦЗСП

Для детального анализа потребления к рассмотрению предлагается режим потребления электроэнергии, который представлен суточным графиком нагрузки компании-потребителя – Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус (рисунок 3). Суточный график нагрузки отражает изменение спроса на электрическую энергию во времени.



Рисунок 3 – Суточный график потребления электроэнергии «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус»

Видим, что данный график характеризуется неравномерным потреблением электроэнергии. Суточный график потребления претерпевает изменения в зависимости от технологического процесса, числа смен, будних, выходных, праздничных дней, и имеет провалы в ночное время (с 00:00 до 07:00), обеденное время. Оставшийся интервал времени относится к плановым часам пиковой нагрузки. Плановые часы пиковой нагрузки – плановый период (часы), в которые потребление электрической энергии и мощности стремится к максимуму. Для каждой ценовой и неценовой зоны оптового рынка электрической энергии и мощности определяются плановые часы пиковой нагрузки.

Вышеуказанный почасовой график электропотребления соответствует рабочему дню – понедельник, 11 марта 2019 г. Максимум электропотребления в Хендэ достигается в 09:00 (пиковый период) – 10,7 МВт*ч; минимум электропотребления в 04:00 (внепиковый период) – 4,55 МВт*ч. В пиковый период наблюдается наивысшая потребность в электроэнергии, так как начинается рабочий день, смена. В данный период времени устанавливаются высокие тарифы на электрическую энергию в энергосистеме. В ночные часы, когда потребители используют электроэнергию по минимуму, тариф снижается. Такая система дифференцированных тарифов называется – многотарифным учетом электроэнергии. В нашем случае если завод снизит нагрузку в пиковые часы, то есть вероятность экономии на оплате электрической энергии.

В пиковые периоды необходимо обеспечить надежную и эффективную работу электроэнергетической системы. Это можно

сделать благодаря сокращению объемов потребления электроэнергии в определенный момент времени. Данное действие приведет к снижению аварийности энергосистемы, увеличению срока службы энергетического оборудования, повышению устойчивости производства и соответственно обеспечению надежности. Вышеуказанные эффекты возможно достичь при помощи внедрения ценозависимого потребления электроэнергии.

Завод ХММР принадлежит к группе розничных потребителей электроэнергии, которые имеют возможность принять участие в ЦЗСП, но только при помощи агрегаторов управления спросом. По данным АО «СО ЕЭС» в Санкт-Петербурге единственным агрегатором выступает компания «Петербургская сбытовая компания», которая является гарантирующим поставщиком электроэнергии на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. На оптовом рынке электроэнергии и мощности ПСК представляет следующие крупные компании: Питер-Лада, Завод Электросила, Гавриловское карьероуправление, ЛМЗ, Турбоатомгаз, МИАКОМ СПб, Тосненский комбикормовый завод и т.д. Предположим, что агрегатором управления спросом для ХММР будет выступать Петербургская сбытовая компания №4. Между ПСК и заводом Хендэ должен быть заключен договор оказания услуг по изменению нагрузки, в котором указано определенное количество разгрузок и их период времени

Для потребителей с ценозависимым потреблением существуют две программы участия в механизме управления спросом (см. рис. 4):

- 2-х часовая разгрузка – 1-5 раз в месяц;
- 4-х часовая разгрузка – 1-5 раз в месяц.

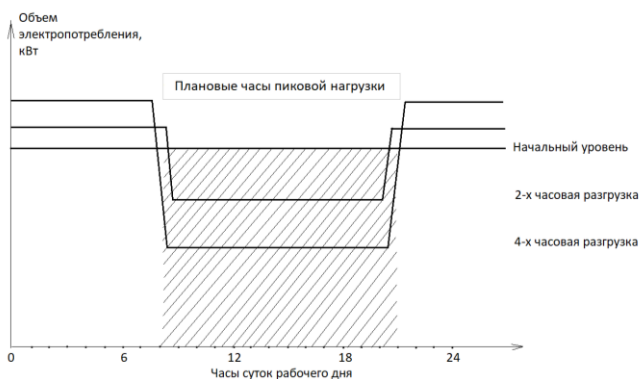


Рисунок 4 – График электропотребления с диапазонами часов пиковых нагрузок

График отражает продолжительность разгрузок в плановые часы пиковой нагрузки (с 08:00 да 21:00). Для соблюдения баланса объема потребления необходимо уменьшить нагрузку в период пикового спроса на электроэнергию и при этом повысить нагрузку на внепиковые периоды. При таком сдвиге нагрузки суточный объем потребления не изменяется.

Экономический эффект от применения ЦЗСП может достигать 40% затрат на потребление электроэнергии. Величина затрат также зависит от размера предприятия, от количества энергоемкого оборудования, от количества выпускаемой продукции и других факторов.

Для определения эффекта от инновационного механизма проведем расчет стоимости покупки электроэнергии заводом Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус до использования ЦЗСП на основе ценовых показателей оптового рынка электроэнергии и мощности Санкт-Петербурга в марте 2019.

Будем рассматривать, что ежедневно объем потребления будет одинаковым, и предположим, что завод будет функционировать в течение года без выходных – 31 день в месяце будут рабочими днями. По данным графика нагрузки объем электропотребления за месяц будет составлять 6 026,1 МВт*ч.

Затраты энергосистемы на выработку электрической энергии будем рассчитывать по следующей формуле:

$$SW_m = \sum_m (W^t * C_{PCB}^t) = 8\,599\,359,68 \text{ руб} \quad (7)$$

где SW_m – стоимость электрической энергии, купленной заводом определенном месяце, руб;

W^t – величина потребления электроэнергии заводом в час t , МВт*ч;

C_{PCB}^t – цена рынка на сутки вперед (PCB) в час t , руб./МВт*ч;

Необходимо отметить, что цены на PCB в дневные (период суточного максимума) и ночные часы; в будние дни и выходные сильно отличаются друг от друга (см. приложение А).

Далее необходимо определить месячный тариф на электрическую энергию:

$$T_3^{мес} = \frac{SW_m}{W^t} = 1427,02 \text{ руб/МВт} * \text{ч} \quad (8)$$

Затраты на электрическую мощность отражают выплаты поставщикам за готовность к выработке электроэнергии в определенный момент

времени в определенном объеме. Проведем расчет затрат на покупку электрической мощности ссылаясь на формулы:

$$SP_m = VP_m * TP_m \quad (9)$$

где SP_m – стоимость мощности, купленной заводом в определенном месяце, руб;

VP_m – величина обязательств по покупке мощности заводом в определенном месяце, МВт*мес;

TP_m – цена мощности, купленной заводом определенном месяце, руб/МВт*мес.

Цена мощности определяется на оптовом рынке электроэнергии и зависит от его спроса и предложения. Цена мощности в первой ценовой зоне в 2019 г. составляла 113 207,70 руб/МВт.

Величина обязательств по покупке мощности заводом рассчитывается по следующей формуле:

$$VP_m = \frac{\sum_{\text{раб,м}} W_{t_{\text{max_регион}}}^{\text{мес}}}{n_{\text{раб,м}}} = 10,7 \text{ МВт} * \text{мес} \quad (10)$$

где W^t – величина потребления электрической энергии заводом в час t , МВт*ч;

$t_{\text{max_регион}}$ – час совмещенного максимума потребления по Санкт-Петербургу – это периоды, когда потребление электрической энергии является максимальным у большинства потребителей.

$n_{\text{раб,м}}$ – количество рабочих дней в месяце (31 день).

Стоимость мощности, купленной заводом Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус составила $SP_m = 1\,211\,322,39$ руб.

Определим тариф на электрическую мощность:

$$T_m = \frac{SP_m}{W^t} = 201,01 \text{ руб/МВт} * \text{ч} \quad (11)$$

Для каждого месяца формируется обязательства по оплате услуг по передаче электроэнергии. Услуги по передаче – это затраты за оказание услуг энергосистемы по транспортировке до конечных потребителей. Для того, чтобы определить стоимость данных услуг, необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$SP2_m = SP2_m^{\text{Содерж}} + SP2_m^{\text{Техн.расход}} \quad (12)$$

где $SP2_m$ – стоимость услуг по передаче электроэнергии для завода по двухставочному тарифу в месяце m , руб;

$СП2_m^{\text{Содерж}}$ – стоимость услуги по передаче электроэнергии по двухставочному тарифу, учитывающему стоимость содержания электрических сетей в месяце m , руб;

$СП2_m^{\text{Техн.расход}}$ – стоимость услуг по передаче электроэнергии по двухставочному тарифу, учитывающему стоимость технологического расхода (потерь) в электрических сетях в месяце m , руб.

Двухставочный тариф на услуги по передаче электроэнергии – включает две ставки:

1. Ставка за содержание электрических сетей. Применяется к объему сетевой мощности.

2. Ставка на оплату потерь в электрических сетях. Применяется к фактическому объему потребления электрической энергии.

Затраты на услугу по передаче электроэнергии по двухставочному тарифу, учитывающему стоимость содержания электрических сетей, определяется по формуле:

$$СП2_m^{\text{Содерж}} = T_m^{\text{Содерж}} * ВП2_m \quad (13)$$

где $T_m^{\text{Содерж}}$ – ставка тарифа за содержание электрических сетей в месяце m , руб/МВт*мес (за март 130 265,92 руб/МВт*мес);

$ВП2_m$ – величина, используемая для расчета обязательств по оплате за содержание электрических сетей, в месяце m , МВт*мес.

Показатель, используемый для расчета обязательств по оплате за содержание электрических сетей вычислим по формуле:

$$ВП2_m = \frac{\sum_{\text{раб},m} \max(W_{T_{\text{пик_CO}}}^t)}{n_{\text{раб},m}} = 10,7 \text{ МВт} * \text{мес} \quad (14)$$

где $\max(W_{T_{\text{пик_CO}}}^t)$ – максимальная величина потребления электроэнергии в период интервалов плановых часов пиковой нагрузки, утверждаемых Системным оператором ЕЭС, для рабочего дня месяца m , МВт.

Для анализируемого месяца – март – плановые часы пиковой нагрузки на 2019 год для Санкт-Петербурга, отнесенного к первой ценовой зоне оптового рынка электрической энергии и мощности, установлены АО «СО ЕЭС» с 8-го по 21-й часы [22]. Плановые часы пиковой нагрузки устанавливаются на следующий календарный год, а в качестве исходных данных принимаются интервалы тарифных зон суток для потребителей (кроме населения), которые утверждаются ФАС России по субъектам России по месяцам следующего календарного года согласно Основам ценообразования в области регулируемых цен

(тарифов) в электроэнергетике, которые утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 29.12.2011 № 1178. Ночные часы суток с (23:00 до 7:00) не включаются в плановые часы пиковой нагрузки.

Из этого следует:

$$СП2_m^{\text{Содерж}} = 1\,393\,845,34 \text{ руб.}$$

Для определения стоимости услуг по передаче электроэнергии по двухставочному тарифу, учитывающему стоимость технологического расхода в электрических сетях, будет использована следующая формула:

$$СП2_m^{\text{Техн.расход}} = T_m^{\text{Техн.расход}} * \sum_m W_t^t \quad (15)$$

где $T_m^{\text{Техн.расход}}$ – ставка тарифа на оплату технологического расхода (потерь) в электрических сетях, в месяце m , руб/МВт*мес (за март 172,26 руб/МВт*мес);

$\sum_m W$ – величина суммарного месячного потребления электроэнергии за расчетный календарный месяц, МВт*мес.

Из этого следует, что:

$$СП2_m^{\text{Техн.расход}} = 1\,038\,056,54 \text{ руб}$$

Таким образом месячная стоимость услуг по передаче электроэнергии завода:

$$СП2_m = 2\,431\,901,88 \text{ руб.}$$

Тариф на услуги по передаче электроэнергии вычислим:

$$T_{II} = \frac{СП2_m}{W_t} = 403,56 \text{ руб/МВт} * \text{ч} \quad (16)$$

В итоге ежемесячные затраты на потребление электроэнергии заводом Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус рассчитывается по формуле:

$$S_3 = SP_m + SW_m + SP_m = 12\,242\,583,95 \text{ руб.} \quad (17)$$

Тариф стоимости электроэнергии в месяц составляет:

$$T_3 = \frac{S_3}{W_t} = 2031,59 \text{ руб/МВт} * \text{ч} \quad (18)$$

Все три составляющие стоимости электроэнергии имеют зависимость от почасового суточного графика электропотребления и поддаются управлению – ценозависимому управлению.

Оценим результат от внедрения ценозависимого управления

спросом на электропотребление на заводе. Ниже представлен график электропотребления промышленным предприятием ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» до и после применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии (см. рисунок 5).

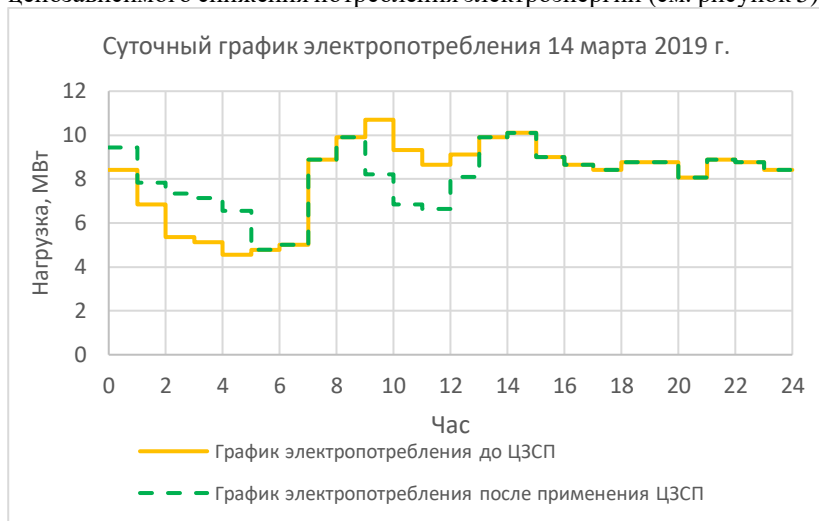


Рисунок 5 – Суточный график потребления электроэнергии «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» после применения технологии ЦЗСП

Как видим по рисунку 5 график суточного электропотребления претерпел изменения. По требованию агрегатора (специализированная организация, которая дает возможность заводу получить плату за снижение своего потребления) было снижено потребление электроэнергии в пиковый период. Можем предположить, что агрегатором завода «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» является АО «Петербургская сбытовая компания», который в Санкт-Петербурге на данный момент является единственным агрегатором. Явно видно, что потребление электроэнергии было перенесено на время ночных периодов.

Снижение потребления 14 марта оказалось эффективным в плановые часы пиковой нагрузки, которые для первой ценовой зоны, а именно Санкт-Петербурга, на территории которого находится завод, составили в интервале с 8-го по 21-й часы. В периоды плановых часов электропотребление, а именно в интервале с 9:00-12:00 ч. было сокращено по программе участия 4-х часовой разгрузки на 8 МВт. Был выбран данный интервал, так как в этом периоде наблюдался максимум

потребления, а также были проанализированы – цены рынка на сутки вперед (РСВ) в час. Общий суточный объем потребления должен остаться исходным, поэтому необходимо увеличить потребление в ночные периоды (внепиковые) на 8 МВт. Электропотребление было увеличено в часы 00:00-4:00. В данном интервале наблюдалось невысокий объем электропотребления, а также низкие цены на РСВ на покупку электроэнергии.

Проведем расчет всех компонентов электроэнергии после корректировки суточного режима электропотребления.

Месячный объем потребления электроэнергии остается неизменным и составляет 6026,1 МВт*ч.

Затраты энергосистемы на выработку электрической энергии после применения ЦЗСП будем рассчитывать по формуле 1 и они будут составлять:

$$SW'_m = 8\,464\,217,97 \text{ руб}$$

Определим месячный тариф на электрическую энергию:

$$T'_3 = 1\,404,59 \text{ руб/МВт} \cdot \text{ч}$$

Исходя из данных индексов равновесных цен на покупку электроэнергии были перераспределены объемы потребления электроэнергии по принципу: разгрузка периодов, где стоимость электроэнергии наибольшая, дозагрузка периодов с наименьшей стоимостью.

Определим затраты на покупку электрической мощности после применения ЦЗСП, ссылаясь на формулы 2 и 3.

Цена мощности в первой ценовой зоне в 2019 г. составляла 113 207,70 руб/МВт.

Величина обязательств по покупке мощности заводом:

$$VP'_m = 10,1 \text{ МВт} \cdot \text{мес}$$

Стоимость мощности, купленной заводом Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус:

$$SP'_m = 1\,143\,397,77 \text{ руб.}$$

Определим тариф на электрическую мощность:

$$T'_m = 189,74 \text{ руб/МВт} \cdot \text{ч}$$

Для того, чтобы снизить величину затрат на электрическую мощность, заводом были смещены пики собственных нагрузок на внепиковые периоды (ночное время).

Для каждого месяца формируется обязательства по оплате услуг по передаче электроэнергии после применения ЦЗСП. Для вычисления стоимости данных услуг необходимо воспользоваться формулами 4, 5, 6:

Показатель, используемый для расчета обязательств по оплате

за содержание электрических сетей:

$$ВП2'_m = 10,1 \text{ МВт*мес}$$

Стоимость содержания электрических сетей составляет:

$$СП2_{\text{м}}^{\text{Содерж}' } = 1\,315\,685,79 \text{ руб.}$$

Стоимость технологического расхода в электрических сетях, составит:

$$СП2_{\text{м}}^{\text{Техн.расход}' } = 1\,038\,056,54 \text{ руб}$$

Таким образом месячная стоимость услуг по передаче электроэнергии завода:

$$СП2'_m = 2\,353\,742,33 \text{ руб.}$$

Тариф на услуги по передаче электроэнергии вычислим:

$$Т'_{\Pi} = 390,59 \text{ руб/МВт * ч}$$

Ежемесячные затраты на потребление электроэнергии после применения ЦЗСП заводом Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус рассчитывается по формуле 8 и составляют:

$$S'_3 = 11\,961\,358,07 \text{ руб.}$$

Тариф стоимости электроэнергии в месяц составляет:

$$Т'_3 = 1\,984,92 \text{ руб/МВт * ч}$$

По результатам расчетов, убеждаемся, что ЦЗСП позволил заводу сгладить пиковые нагрузки и получить экономический эффект: сократить затраты на электроэнергию.

3.2. Эффект от применения механизма ценозависимого управления затратами

Эффект от применения механизма ценозависимого снижения потребления электроэнергии рассчитывается как разница между стоимостью электрической энергии до и после управления электропотребления по формуле 9.

$$\Delta SW_m = SW_m - SW'_m \quad (19)$$

где ΔSW_m – экономия затрат на оплату стоимости электроэнергии от ценозависимого управления спросом;

SW_m – затраты на оплату стоимости электроэнергии до применения ЦЗСП;

SW'_m – затраты на оплату стоимости электроэнергии после применения ЦЗСП.

Эффект от использования механизма ценозависимого управления мощностью определяется по следующей формуле:

$$\Delta SP_m = SP_m - SP'_m \quad (20)$$

где ΔSP_m – экономия затрат на оплату стоимости электрической мощности от ценозависимого управления спросом;

SP_m – затраты на оплату электрической мощности до применения ЦЗСП;

SP'_m – затраты на оплату электрической мощности после применения ЦЗСП.

Эффект от использования ценозависимого снижения потребления по услугам по передаче электроэнергии рассчитаем по формуле 11:

$$\Delta SP2_m = SP2_m - SP2'_m \quad (21)$$

где $\Delta SP2_m$ – экономия затрат на оплату стоимости услуг по передаче от ценозависимого управления спросом;

$SP2_m$ – затраты на оплату услуг по передаче до использования ЦЗСП;

$SP2'_m$ – затраты на оплату услуг по передаче после использования ЦЗСП.

Итоговые результаты расчета стоимости и экономии затрат на электропотребление представлены таблице 13.

Таблица 13 – Экономический эффект от использования механизма ценозависимого снижения потребления на заводе Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус

Затраты	До применения ЦЗСП		После применения ЦЗСП		Экономия		
	Стоимость	Тариф	Стоимость	Тариф	Стоимость	Тариф	%
	руб	руб/МВ т*ч	руб	руб/МВ т*ч	руб	руб/МВ т*ч	
1	2	3	4	5	6	7	8
Электроэнергия	8 599 359,6	1 427,02	8 464 217,9	1 404,59	135 141,7	22,43	1,57

Окончание таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7	8
Электрическая мощность	1 211 322,3	201,01	1 143 397,7	189,74	67 924,6	11,27	5,61
Услуга по передаче	2 431 901,8	403,56	2 353 742,3	390,59	78 159,5	12,97	3,21
Итого	12 242 583,9	2 031,59	11 961 358,1	1 984,92	281 225,9	46,67	2,3

Необходимо отметить, что общая стоимость электрической энергии уменьшилась при неизменном суммарном месячном объеме электропотребления благодаря механизму управления спросом.

По данным таблицы видно, что использование ЦЗСП дает большую экономию в общей стоимости электроэнергии. Такая величина экономии объясняется снижением затрат по основным составляющим структуры затрат на потребление электроэнергии:

- стоимость электроэнергии;
- стоимость электрической мощности;
- стоимость услуг по передаче электроэнергии.

Поэтому оправдано такое смещение энергопотребления в течение суток.

Общая экономия в сутки от использования технологии управления спросом – ЦЗСП – составила 2,3%, а именно 281 225,88 руб. При применении механизма ежемесячно, 5 раз в месяц, 4 часа подряд ориентировочная ежегодная экономия может достичь эффекта в 16 873 552,8 руб. При более значительной корректировке графика потребления электроэнергии экономия может достичь 10% и более от общей стоимости электроэнергии. Все зависит от частоты и длительности применения механизма управления спросом промышленным предприятием. А также большую роль во внедрении ЦЗСП играет размер завода, объем электропотребления, использование энергоемкого оборудования, которые в большей степени поддаются ценозависимому управлению. Применение ЦЗСП привело не только к сокращению затрат, но и к снижению себестоимости производимой продукции, а также к росту финансового результата.

Так как автомобилестроительный завода Хёндэ имеет 4 цеха, каждый цех может подключить специализированное оборудование для управления спросом и повышать энергоэффективность предприятия. Для более быстрого распространения данного механизма в компании необходимо владеть определенными финансовыми ресурсами и

заняться повышением квалификации сотрудников, в задачи которых будут входить контроль объемов электропотребления, функционирования специализированного оборудования, обеспечение непрерывного контакта с агрегатором управления спросом.

3.3. Оценка эффективности инвестиционного проекта по внедрению АИИС КУЭ

Проанализировав эффект от ценозависимого потребления можно предположить, что автомобилестроительный завод будет внедрять механизм ЦЗСП. Для участия в данном механизме необходимо подключение умных счетчиков и систем учёта, которые предназначены для сбора данных и взаимодействию с сетевыми и энергосбытовыми компаниями, с построением прогноза на предстоящие периоды и актуализацией графика нагрузки. В случае, если на предприятии устанавливается больше 5 умных счетчиков, то подключаются устройства сбора и передачи данных. Система, которая применяется в ЦЗСП называется Автоматизированной информационно-измерительной системой коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ), а также альтернативное название системы, идентичные технически – Автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии. (АСКУЭ) [23]. Данная система должна соответствовать техническим требованиям ОРЭМ. Область применения АИИС КУЭ – коммерческий учет электроэнергии за определенный период, измерение средних значений мощности, мониторинг нагрузок объектов. Преимуществами данной системы выступают исключение ошибок в передаче информации; повышение точности учёта; автоматизация учёта электроэнергии. АСКУЭ учитывает объемы поставленной электроэнергии и мощности, а также выполняет функции инструмента для оперативного и долгосрочного прогнозирования потребления электроэнергии.

Для внедрения АСКУЭ необходимо:

- провести анализ объема и структуры энергопотребления завода за 2-3 месяца агрегатором управления спроса (анализ почасовых показаний счетчиков электроэнергии);
- подобрать соответствующие умные счетчики, которые позволят дистанционно собирать, хранить и передавать в энергосбытовую компанию информацию по электропотреблению;
- выполнить электромонтажные работы;
- установить оборудование для передачи показаний счётчиков напрямую поставщику электроэнергии;

- проверить правильность функционирования счетчиков и систем;
- настроить программное обеспечение и хранилище данных.

Завод ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» собирается внедрить механизм ЦЗСП. Для этого необходимо приобрести счетчики, обеспечить их установку, установку дополнительного оборудования, программного обеспечения, провести электромонтажные работы. Планируется реализовать инвестиционный проект сроком 3 года.

В течение 3-х лет ожидается доход от реализации (см. таблицу 14).

Таблица 14 – Доход (CF_t) завода (млн. руб.)

Период	CF, млн. руб.
1	14
2	15
3	16
Сумма	45

Первоначальные капитальные вложения завода представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Первоначальные капитальные вложения (IC_t) завода (млн.руб.)

Состав кап. вложений	IC, млн. руб.
Стоимость умных счетчиков (IC_{1t})	6
Установка счетчиков (IC_{2t})	3
Электромонтажные работы (IC_{3t})	3
Установка дополнительного оборудования (IC_{4t})	5
Установка программного обеспечения (IC_{5t})	5
Сумма (IC_t)	22

Исходя из вышеуказанных данных нам необходимо оценить эффективность данного инвестиционного проекта. Эффективность проекта характеризуется показателями, которые отражают соотношение затрат и результатов для его участников по интегральным показателям:

- чистому дисконтированному доходу (NPV – Net Present Value);
- внутренней норме доходности (IRR – Internal Rate of Return);
- индексу доходности (PI – Profitability Index);
- дисконтированному сроку окупаемости (DPP – Discounted Payback Period).

Сперва необходимо определить величину ставки дисконтирования. Ставка дисконтирования вычисляется по формуле Ирвинга Фишера (см. формула 22) и устанавливается в размере 11,36%.

$$E = (1 + i_{\text{альт}}) * (1 + i_{\text{инф}}) * (1 + i_{\text{риск}}) - 1 \quad (22)$$

где $i_{\text{альт}}$ – оценка альтернативных вложений (обычно на уровне средней доходности долгосрочных государственных облигаций);

$i_{\text{инф}}$ – оценка инфляционных ожиданий (обычно на уровне оценки Росстата среднего темпа инфляции на ближайший период);

$i_{\text{риск}}$ – оценка риска (обычно на уровне субъективной оценки «полного срыва проекта» в условиях «будущих состояний экономики»).

Видим, что ставка дисконтирования отображает следующие показатели: риски проекта, инфляцию и возможность альтернативного использования средств. Данный показатель может оказать решающее влияние на проект при принятии решения. Его ошибочное определение может привести к неразумному финансовому и инвестиционному решению. Если говорить об экономическом смысле ставки дисконтирования, то он показывает, какой ежегодный процент возврата может иметь инвестор на инвестируемый им капитал.

Начнем с чистого дисконтированного дохода (NPV). Данный показатель определяется как сумма текущих эффектов за расчетный период, которая приведена к начальному периоду времени, или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами:

$$NPV = - \sum_{t=0}^T \frac{IC_t}{(1 + E)^t} + \sum_{t=1}^T \frac{CF_{it} - CF_{ot}}{(1 + E)^t} \quad (23)$$

где T – период реализации проекта;

t – момент окончания t -го шага расчета;

IC_t – капитальные затраты в период t ;

E – ставка дисконтирования;

CF_{it} – денежный приток в период t ;

CF_{ot} – денежный отток в период t .

Для расчета NPV используем данные таблиц 14 и 15, $E=0,11$, шаг расчета $t=1$ год, период реализации проекта $T=3$ года. По формуле 23, определим NPV и занесем для удобства в таблицу 16.

Таблица 16 – Исходные данные для расчета NPV и его результат для проекта завода

Показатель, млн. руб.	Период, год			
	0	1	2	3
CF _t		14	15	16
PV _t		12,57	12,09	11,58
Нарастающий PV _t		12,57	24,67	36,25
DIC _t	-22			
NPV _t		-9,43	2,67	14,25

По условию эффективности чистый дисконтированный доход (NPV) должен быть положительным. Чем выше показатель, тем более выгодными будут вложения в АСКУЭ. NPV проекта равен 14,25 млн. руб., что значительно больше нуля, следовательно проект эффективен по показателю NPV. Проект принесет прибыль, автоматизация финансовых процессов себя окупит.

Далее внутренняя норма доходности (IRR). IRR – это такая ставка дисконтирования, при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям. Чем выше IRR, тем больше доходность инвестиционного проекта, так как можно заложить больше рисков. IRR можно рассчитать при решении следующего уравнения:

$$\sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{IC_t}{(1 + IRR)^t} \quad (24)$$

$$IRR=45\%=0,451$$

По показателю IRR проект эффективен, так как $IRR > E$ ($0,451 > 0,11$). Разница между IRR и E значительная. То есть при ставке 0,451 инвестор сможет возместить свою первоначальную инвестицию, то есть выйдет в ноль.

Далее индекс доходности (PI). С помощью данного показателя оценивают потенциальную доходность проекта, то есть PI показывает сколько копеек приносит каждый рубль, потраченный на реализацию проекта. Он представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к капиталовложениям:

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + E)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{IC_t}{(1 + E)^t}} = \frac{PV}{DIC_t} = 1,65 \quad (25)$$

По показателю PI проект завода эффективен, так как PI

составляет 1,65, что значительно больше 1 и данный проект признается перспективным и принимается к рассмотрению.

Далее срок окупаемости (DPP). DPP – это период (месяц, год), начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления, т.е. когда $PV = DIC_t$. По данным нижепредставленной таблицы 17 можно рассчитать срок окупаемости.

Таблица 17 – Расчет срока окупаемости

Показатель, млн. руб.	Период, год			
	0	1	2	3
CF_t		14	15	16
PV_t		12,57	12,09	11,58
Нарастающий PV_t		12,57	24,67	36,25
DIC_t	22			

В нашем случае капитальные вложения и другие затраты равны 22 млн. руб. По таблице видно, что 22 млн. руб. покроется суммарными результатами после 1 года (таблица 17). По результатам расчета срок окупаемости проекта (DPP) завода составил 1 год 285 дней.

По показателю DPP проект завода эффективен, так как данный показатель – эффективен и составляет 1 год 285 дней < 3 лет, что меньше периода реализации инвестиционного проекта (T). Это говорит о том, что денежные средства инвестору окупятся быстрее.

Обобщим результаты выполненных расчетов по оценке эффективности инвестиционного проекта и представим в виде таблицы 18.

Таблица 18 – Показатели оценки эффективности инвестиционного проекта

Показатель	Результат
NPV, млн. руб.	14,25
IRR	0,451
PI	1,65
DPP, г, дн.	1 год 285 дней

В результате анализа эффективности инвестиционного проекта по внедрению механизма ЦЗСП на заводе «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» можно сделать вывод, что по показателю NPV проект является эффективным, значение больше 0 - 14,25 млн. По показателю IRR равный 0,451 является прибыльным. То есть при такой ставке инвестор сможет возместить свою первоначальную инвестицию,

то есть выйдет в ноль. По показателю PI проект завода является эффективным, так как PI составляет 1,65, что значительно больше 1 и данный проект признается перспективным. Чем выше PI проекта, тем больший доход он может принести. По показателю DPP инвестиционный проект считается эффективным, так как срок окупаемости равен 1 году 285 дню, что меньше периода реализации инвестиционного проекта ($T = 3$ года). Денежные средства инвестору окупятся за 1 год и 285 дн. По всем интегральным показателям проект завода является экономически эффективным, прибыльным и выгодным.

Выводы по разделу

Все три составляющие стоимости электроэнергии имеют зависимость от почасового суточного графика электропотребления и поэтому поддаются управлению – ценозависимому управлению. В результате проведенных расчетов был определен экономический эффект от механизма ценозависимого потребления электроэнергии для завода «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус»: сокращение затрат на оплату электроэнергии по 3-м компонентам (16 млн. в год): электрической энергии, электрической мощности и услуг по передаче электроэнергии. Данный факт приводит к снижению себестоимости продукции; повышению надежности и энергоэффективности не только предприятия, но и единой энергетической системы; уменьшению потребности в резервных мощностях. Применение технологии ценозависимого управления спросом позволяет промышленному предприятию за счет сокращения затрат на энергоресурсы и уменьшение себестоимости повышать конкурентоспособность, что приводит к росту финансового результата предприятия.

Для анализа эффективности инвестиционного проекта по внедрению ЦЗСП на заводе «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» были рассчитаны интегральные показатели: чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма дисконта (IRR), индекс доходности (PI) и дисконтированный срок окупаемости (DPP). В результате определения значений этих показателей завода проект является прибыльным, эффективным, так как его значения вышеуказанных показателей соответствуют условиям эффективности инвестиционного проекта.

Благодаря развитию оптового и розничного рынка электроэнергии и мощности России и созданию ЦЗСП, промышленные предприятия имеют возможность снижать затраты на покупку электроэнергии; получать максимальную эффективность от осуществления деятельности предприятия; повышать энергоэффективность завода и энергосистемы России. Для получения

большого эффекта от внедрения управления спросом необходимо применять больше специализированного оборудования, быть готовым разгружать несколько раз в месяц по возможности 4 часа непрерывно. Оборудование с постоянным графиком нагрузки полностью перевести на ЦЗСП, тем самым расширяя границы её использования, что является очень эффективным решением.

Для более быстрого распространения технологии ценозависимого потребления можно разработать следующие рекомендации для промышленного предприятия:

- перестроить работу оборудования, не использующего для своего функционирования электроэнергию;
- перевести оборудование с постоянным графиком нагрузки на ЦЗСП;
- необходимо повысить квалификацию сотрудников, в задачи которых будут входить контроль объемов электропотребления, функционирования специализированного оборудования, обеспечение непрерывного контакта с агрегатором управления спросом;
- обеспечить предприятие средствами учета, контроля и управления;
- необходимо увеличить скорость принятия управленческих решений, в связи с необходимостью получения своевременной информации об изменении ежечасного объема потребления электроэнергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в процессе написания выпускной квалификационной работы была обоснована эффективность внедрения инновационной технологии ценозависимого снижения потребления электроэнергии. Поставленная цель была успешно достигнута благодаря выполненным по мере реализации работы задачам.

В теоретической части были рассмотрены основные понятия, относящиеся к интеллектуальным сетям «Smart Grid», сущность механизма управления спросом на электроэнергию, мировой опыт внедрения и развития DR. Помимо этого, были охарактеризованы основные программы управления спросом, наиболее распространённые в мире. Уровень развития управления спросом не одинаковый во всех странах, это зависит от специфики рынка электроэнергии, масштаба распространения технологии, политики страны в данной отрасли и других факторов.

Аналитическая часть включала исследование развития механизма ЦЗСП в ЕЭС России. В результате анализа было выявлено, что технология показала свою высокую востребованность со стороны потребителей и энергосбытовых компаний. В пилотном проекте, действовавшем в 2019-2020 гг., приняли участие в качестве агрегаторов 70 компаний. Агрегаторами было привлечено более 160-ти промышленных потребителей, среди которых международные и отечественные компании. Был задействован 51 регион России, расположенных как в Европейской части России, так и в Сибири. В 2019-2020 гг. объем ресурсов управления спросом увеличился более чем в 18 раз — с 50 МВт до 910 МВт. Было решено продолжить реализацию пилотного проекта в 2021 г., в котором прогнозируемый объем участия розничных потребителей составляет 1 866 МВт.

Заключительная часть включает анализ применения механизма ЦЗСП промышленным предприятием «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус». Был определен экономический эффект (экономия) по суточным данным потребления за 11 марта 2019 г. - 281 226 руб. Важно, что общая стоимость электрической энергии уменьшилась при неизменном суммарном месячном объеме электропотребления благодаря смещению нагрузки во внеплановые часы пиковой нагрузки. Была раскрыта специфика формирования стоимости электроэнергии по трем компонентам, которые поддаются ценозависимому управлению.

Был проведен инвестиционный анализ по подключению умных счетчиков и систем учёта, которые предназначены для сбора данных и взаимодействия с сетевыми и энергосбытовыми компаниями. В результате были рассчитаны следующие интегральные показатели

эффективности инвестирования в проект:

- чистый дисконтированный доход проекта составит 14,25 млн. руб., что говорит об успешной реализации данного проекта;
- внутренняя норма доходности выше ставки дисконтирования и составит 45%, то есть при такой ставке инвестор гарантированно возместит свои вложения;
- индекс рентабельности составит 1,65, что характеризует перспективность данного проекта (>1);
- срок окупаемости составит 1 год 285 дней, в то время как весь период реализации проекта 3 года. Это говорит об эффективности проекта.

По всем показателям проект по внедрению интеллектуальных счетчиков и АСКУЭ является прибыльным и эффективным.

В результате было доказано наличие перспективных возможностей внедрения механизма ЦЗСП на промышленных предприятиях благодаря современным условиям оптового и розничного рынков электроэнергии. Было определено два эффекта для промышленного предприятия: экономический и технологический. Экономический эффект: снижение затрат на оплату электроэнергии, уменьшение себестоимости и в следствие рост финансового результата компании, сокращение затрат на формирование резерва генерирующих мощностей. Технологический эффект: повышение надежности функционирования и энергоэффективности предприятия и энергосистемы в целом, снижение аварийности, и увеличение сроков эксплуатации оборудования.

По окончании исследования были разработаны рекомендации, которые могут способствовать более быстрому распространению технологии ценозависимого потребления среди промышленных предприятий России.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Е. А. Сальникова Формирование концепции активного потребителя в энергетике: дис. канд. экон. наук: Специальность: 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством. - Санкт-Петербург, 2014.

2. Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников, М. В. Кожевников Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России // Эффективное антикризисное управление. - 2013. - №1 (76). - С. 84 - 89.

3. Demand Response Availability Data System (DADS): Phase I & II Final Report. Report. Princeton: NERC, 2011. В редакции The Demand Response Paradox. The Importance of Markets and Policy to Demand Response White Paper; CGI, 2016

4. Farshid Shariatzadeh, Paras Mandal, Anurag K. Srivastava Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy // Elsevier. - 2015. - №45. - С. 343 - 350.

5. Regional System Operators in the United States and Canada // ISO/RTO COUNCIL URL: <http://isorto.org/site/c.jhKQIZPBImE/b.2604471/k.B14E/Map.htm> (дата обращения: 11.04.2021).

6. Demand Response Is a Valuable Resource for Maximizing Market Efficiency and System Reliability // MISO. FERC Order 745.

7. Demand Response Primer and Training Guide // Midwest ISO Energizing the Heartland. – 2011.

8. Наталья Сидоровская Управление спросом на рынке США: опыт Калифорнии в области использования распределенных энергоресурсов // ЭнергоРынок. - 2017. - №146. - С. 52-57.

9. Assessment of Demand response and Advanced Metering, Staff Report, Federal Energy Regulatory Commission, 2016,2018,2019,2020.

10. Smart Energy Demand Coalition (SEDC). (2017, Apr.). Explicit demand response in Europe: Mapping the markets 2017 // URL: <http://www.smartenergy.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf> (дата обращения: 12.04.2021).

11. Все, что Вы всегда хотели знать об Управлении спросом (Demand response) // Electricity for Europe. - 2015. - №12/105/11.

12. Energy Efficiency and Demand Response Market Analysis and Forecasts: 2019-2028 // Guidehouse Insights [Электронный ресурс] URL: <file:///C:/Users/Admin/Desktop/mo-dsm-19-executive-summary.pdf> (дата обращения: 04.12.2020).

13. Е. Ишкова, М. Кулешов, С. Рычков. Поведенческое управление спросом // Энергорынок. - 2018. - №159 - С. 14 - 23.

14. Постановление Правительства Российской Федерации "О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2011 №1172" от 20 июля 2016 г. № 699

15. Постановление Правительства Российской Федерации "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности" от 20 марта 2019 г. № 287

16. Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности // Инфраструктурный центр EnergyNet. - Москва 2019.

17. Функционирование механизма ценозависимого снижения потребления // <https://www.so-ups.ru/> URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/review/2017/dr_review17_01-02.pdf (дата обращения: 01.04.2021).

18. Пилотный проект по созданию агрегаторов управления спросом // <https://www.so-ups.ru/> URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/present/2020/present_091220_kuleshov.pdf (дата обращения: 30.03.2021).

19. ПРОТОКОЛ о составе субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию в период с апреля по июнь 2021 года // Системный оператор ЕЭС [Электронный ресурс] URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/protocols/2021/protokol_dr_33_310321.pdf (дата обращения: 16.05.2021).

20. О государственной программе Санкт-Петербурга "Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры, энергетики и энергосбережения в Санкт-Петербурге" на 2015-2020 годы // Администрация Санкт-Петербург [Электронный ресурс] URL: <https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2016/05/13/486.pdf> (дата обращения: 20.05.2021).

21. Электробаланс 2005–2019гг. // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (дата обращения: 14.05.2021).

22. Плановые часы пиковой нагрузки на 2019 год для территорий, отнесенных к ценовым зонам оптового рынка электрической энергии и мощности, и территорий, отнесенных к неценовым зонам оптового

рынка электрической энергии и мощности // Системный оператор ЕЭС [Электронный ресурс] URL: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/markets/2019/pik_chas2019.pdf (дата обращения: 10.05.2021).

23. Установка систем АСКУЭ и АИИС КУЭ для предприятий и бизнеса // Петербургская бытовая компания [Электронный ресурс] <https://pesc.ru/services/askue-dlya-biznesa/> (дата обращения: 20.05.2021).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Час	РСВ - Индекс равновесных цен на покупку электроэнергии, руб./МВт.ч.	Величина потребления электрической энергии, МВт
0:00	1190,76	8,42
1:00	1061,65	6,82
2:00	1017,06	5,35
3:00	1012,88	5,12
4:00	1044,23	4,55
5:00	1254,81	4,78
6:00	1330,77	5,00
7:00	1507,24	8,87
8:00	1553,51	9,90
9:00	1595	10,7
10:00	1607,3	9,33
11:00	1600,02	8,65
12:00	1554,37	9,10
13:00	1550,32	9,90
14:00	1504,03	10,1
15:00	1496,88	8,99
16:00	1500,9	8,65
17:00	1458,76	8,42
18:00	1503,24	8,76
19:00	1541,15	8,76
20:00	1482,42	8,08
21:00	1457,57	8,87
22:00	1318,4	8,76
23:00	1281,93	8,42